

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables en
la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura, en el año 2019.**

Por

Nancy Elizabeth, Torres Rodríguez

Asesor

Mg. Leonel Chahuares Paucar

Lima, diciembre del 2019

ANEXO 07 DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

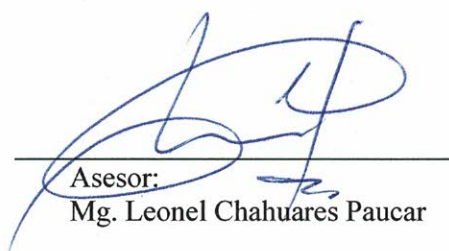
Mg. Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019” constituye la memoria que presenta la bachiller Nancy Elizabeth Torres Rodríguez, para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en la ciudad de Lima, a los 17 días de diciembre del año 2019.



Asesor:
Mg. Leonel Chahuares Paucar

Incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables en la
estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura, en el año 2019

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

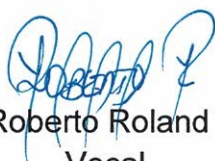
JURADO CALIFICADOR



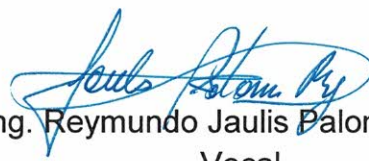
Ing. David Díaz Garamendi
Presidente



Ing. Ferrer Canaza Rojas
Secretario



Ing. Roberto Roland Yoctun Ríos
Vocal



Ing. Reymundo Jaulis Palomino
Vocal



Mg. Leonel Chahuares Paucar
Asesor

Lima, 17 de Diciembre del 2019

Dedicatoria

A Dios, mis padres: Valerio,
Gloria, mis hermanos, amigos: Max
y Axel, con profunda gratitud
y cariño por su apoyo constante
en mi superación personal

Nancy

Agradecimiento

A la Universidad Peruana Unión y su plana docente, por la valiosa enseñanza.

A todas las personas que contribuyeron en el desarrollo de la presente tesis: a los Ing. Carlos y Percy Tupia Córdova, al Ing. Pedro Barreto Michue. a mi asesor Mg Leonel Chahuares Paucar, a todos ellos, por el apoyo a esta investigación, por sus correcciones y sugerencias a este trabajo.

Tabla de contenido

Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Tabla de contenido	vi
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	xii
Símbolos usados	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción	xvi
 Capítulo I El Problema	 18
1.1. Descripción de la realidad problemática	18
1.2. Formulación del Problema	20
1.3. Objetivos	20
1.4. Importancia y alcances de la investigación	21
1.5. Limitaciones de la investigación	23
 Capítulo II Marco teórico	 24
2.1. Antecedentes de la investigación	24
2.2. Bases teóricas	28
2.3. Definición de términos básicos	59

Capítulo III Materiales y métodos	60
3.1. Enfoque de la investigación	60
3.2. Tipo de investigación	61
3.3. Diseño de la Investigación	62
3.4. Método de investigación	63
3.5. Hipótesis	64
3.6. Variables	64
3.7. Operacionalización de variables	65
3.8. Población y Muestra	66
3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	67
 Capítulo IV Resultados y discusión	 86
4.1. Ensayos de laboratorio	86
4.2. Identificación de suelos colapsables	91
4.3. Análisis de estabilidad de taludes	104
4.4. Recomendaciones para estabilización de taludes	113
4.5. Contraste de hipótesis	117
5.6. Discusión de resultados	119
 Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	 120
5.1. Conclusiones	120
5.2. Recomendaciones	123
Referencias	124
Anexos	128

Índice de tablas

Tabla 1	Criterios para la identificación de suelos colapsables (Das 2007; Luttenegger 1998)	36
Tabla 2	Criterios de Colapsabilidad según Jennigs y Knight (1975)	38
Tabla 3	Métodos de análisis de estabilidad de taludes Suárez (1998)	52
Tabla 4	Valores de K recomendados para el análisis pseudoestático Suárez (1998)	54
Tabla 5	Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes.	55
Tabla 6	Factores de seguridad recomendados para taludes nuevos, considerando una lluvia con período de retorno de diez años. Geotechnical Manual for slope (1984)	55
Tabla 7	Factores de seguridad en el cálculo de estabilidad de taludes. (Valiente et al. 2015)	56
Tabla 8	Operacionalización de variables	65
Tabla 9	Clasificación de los perfiles de suelo E.030 Diseño sismoresistente (2016)	78
Tabla 10	Tasa de excedencia anual y tiempos de retorno	81
Tabla 11	Tasa de excedencia anual y tiempos de retorno y PGA	83
Tabla 12	Lista de ensayos y normativa empleada	86
Tabla 13	Resumen de los ensayos estándar de laboratorio	88
Tabla 14	Resultados del ensayo de peso volumétrico	88
Tabla 15	Resultados de ensayo de gravedad específica	89
Tabla 16	Resultados de ensayo de corte, muestra insaturada	90
Tabla 17	Resultados de ensayo de corte con variación de grado de saturación	90
Tabla 18	Resultados de ensayo de sales y sulfatos	91
Tabla 19	Resumen de parámetros para la identificación de suelos colapsables	92
Tabla 20	Criterio de identificación de suelos colapsables según diversos autores	95
Tabla 21	Categorías y clases de exposición ACI 318.S-14	100
Tabla 22	Resumen factor de seguridad en condiciones estáticas	108
Tabla 23	Resumen factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas	110

Índice de figuras

Figura 1: Estructura de suelo antes y después del humedecimiento. Rogers (1995)	31
Figura 2: Estructuras típicas de suelos colapsables según Clemence y Finbarr (1981)	31
Figura 3: Familia de suelos colapsables Rogers (1992)	32
Figura 4: Esquema de las características clave de suelos colapsables Howayek et al. (2011)	35
Figura 5: Criterios del Potencial de Colapso: E.050 Suelos y Cimentaciones	38
Figura 6: Elementos constitutivos de taludes y laderas. Suarez (1998)	41
Figura 7: Factores que inciden en la estabilidad de un talud Valladares (2015)	44
Figura 8: Tipo de falla en taludes de suelo según Gonzales et al. (2002).	45
Figura 9: Mecanismos de rotura. Ortuño (2003).	49
Figura 10: Criterio de rotura en suelos	57
Figura 11: Esquema seguido para la ejecución de tesis	63
Figura 12: Ubicación de la zona de estudio	68
Figura 13: Ubicación de talud a analizar	69
Figura 14: Dirección y velocidad de los vientos (m/s)-Paita (IMARPE/AFSR 2017)	73
Figura 15: Vista Litológica del talud.	76
Figura 16: Vista de falla Normal, ubicada a 350m al Suroeste del área de estudio	77
Figura 17: Vista del Borde Litoral angosto del área de estudio	78
Figura 18: Análisis multicanal de ondas superficiales MASW08 (TCINGE 2018)	79
Figura 19: Variación de las velocidades de ondas de corte Vs30 en el terreno.	80
Figura 20: Latitud y longitud del terreno de evaluación	82
Figura 21: Probabilidad anual de excedencia vs aceleración espectral	82
Figura 22: Espectro de peligro uniforme. Amáx = 0.447g. Tiempo de retorno 475 años	83
Figura 23: Topografía de talud de estudio.	84
Figura 24: Vista talud reconformaado para vía de acceso	85

Figura 25: Muestreo de talud Sección 2-2.	85
Figura 26: Ensayo de granulometría sección 2-2, M-2	87
Figura 27: Ensayo de límite líquido y límite plástico	87
Figura 28: Ensayo de peso volumétrico	88
Figura 29: Picnómetro más muestra de suelo	89
Figura 30: Muestra sometida a ensayo de corte.	90
Figura 31: Equipo para ensayo de corte	91
Figura 32: Relación de fases para los suelos en condiciones naturales	92
Figura 33: Criterio de identificación de suelos colapsables E-0.50	93
Figura 34: Límite líquido vs densidad natural seca	94
Figura 35: Criterio de potencial de colapso (Gibbs 1961)	97
Figura 36: Granulometría de las muestras analizadas	98
Figura 37: Comparación de suelo colapsable	99
Figura 38: Variación del ángulo de fricción en función al grado de saturación M-3	100
Figura 39: Variación de la cohesión en función al grado de saturación M-3	100
Figura 40: Variación de los enlaces estructurales en suelos colapsables bajo infiltración. Osipov y Sokolov (1994).	102
Figura 41: Parámetros de resistencia antes y después de la saturación	103
Figura 42: Contenido de humedad vs grado de saturación	103
Figura 43: Sección de talud a analizar	105
Figura 44: Disposición de estratos para modelamiento de talud	105
Figura 45: FS para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 5.72\%$	106
Figura 46: FS para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 24.24\%$	107
Figura 47: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 71.34\%$	107
Figura 48: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 55.08\%$	107
Figura 49: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 95.13\%$	108

Figura 50: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 5.72\%$, en condiciones pseudoestáticas.	109
Figura 51: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 24.24\%$, en condiciones pseudoestáticas.	109
Figura 52: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 55.08\%$, en condiciones pseudoestáticas	109
Figura 53: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 71.34\%$, en condiciones pseudoestáticas	110
Figura 54: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 95.13\%$, en condiciones pseudoestáticas	110
Figura 55: Variación del factor de seguridad vs factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.	112
Figura 56: FS método GLE, Morgenstern-Price , para talud reforzado con grado de saturación crítico en condición pseudoestática	113
Figura 57: FS método GLE, Morgenstern-Price, para talud reforzado con grado de saturación crítico en condiciones pseudoestáticas	113
Figura 58: Disposición del muro de suelo reforzado integrado en el talud.	114
Figura 59: Comparación del FS Global método Spencer, para talud reforzado-caso S_r crítico	114
Figura 60: Comparación del FS, método Spencer de banco para talud reforzado-caso de S_r crítico.	115

Índice de anexos

Anexo A: Mapa de exploración geotécnica	129
Anexo B: Ficha técnica de geosintéticos	131
Anexo C: Panel fotográfico	138
Anexo D: Resultados de ensayos de laboratorio	142

Símbolos usados

γ_d	: Densidad natural seca
u	: Presión intersticial
σ_n	: Esfuerzo normal total
τ	: Resistencia al corte de suelo para un determinado plano
τ_f	: Resistencia cortante promedio del suelo
ϕ	: Ángulo de fricción
ϕ'	: Ángulo de fricción efectivo
c'	: Cohesión efectiva
c'	: Cohesión
e_L	: Relación de vacíos en el límite líquido
e_o	: Relación de vacíos natural
F_s	: Factor de seguridad
LL	: Límite plástico
LP	: Índice de plasticidad
S_r	: Grado de saturación
W	: Contenido de humedad natural
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
FHWA	: Federal Highway Administration
MEL	: Método de equilibrio límite
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NTP	: Norma Técnica Peruana
SUCS	: Unified Soil Classification System
U.S.B.R	: United States Bureau of Reclamation

Resumen

Debido a la compleja prospección regional geológica de nuestro país la siguiente investigación tuvo como objetivo fundamental determinar la incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019. Estos suelos son conocidos por la variación física de sus propiedades además de lo complejo y diverso de sus características mecánicas. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, de tipo explicativo y diseño experimental, por lo que involucró trabajos de campo, ensayos de laboratorio y un modelamiento geotécnico. La población estuvo compuesta por los suelos que conforman el talud, ubicado a 4 km del puerto de Paita, al norte de Perú. Se recolectaron cuatro muestras de suelo colapsable para su caracterización física, mecánica y química. Por ello se realizaron ensayos de clasificación, gravedad específica, peso volumétrico, sales, sulfatos y corte directo. El ensayo de corte fue realizado en cinco muestras inalteradas para examinar la variación de los parámetros de resistencia en función al grado de saturación. Resultados de laboratorio clasifican a estos suelos como limos arenosos (ML), con límite líquido menor a 28, límite plástico menor a 25, relación de vacíos $e > 0.7$ y bajas densidades entre 11-14 KN/m³. El modelamiento fue ejecutado mediante el programa comercial Slide v.6, siendo enfocado a examinar la variación del factor de seguridad en respuesta al cambio de grado de saturación, en condiciones drenadas. El análisis de estabilidad revela que el factor de seguridad varía proporcionalmente al grado de saturación del suelo colapsable, siendo la condición más desfavorable para la estabilidad del talud un grado de saturación de 24.24%, y un coeficiente sísmico de 0.22 g. Se limita de esta manera el contenido de humedad de estos suelos a 7.51%, humedades por encima de este valor incumplen con el factor de seguridad recomendado por la normativa.

Palabras clave: Suelos colapsables, grado de saturación, relación de vacíos, estabilidad de talud.

Abstract

Because of the complex regional geological prospecting of our country, the following research had as its main purpose to determine the incidence of the degree of saturation of collapsible soils on the slope stability of the Paita-Piura port in 2019. These soils are notable for the variability of physical properties, complexity and diversity of mechanical characters.

The research approach was quantitative, explanatory and experimental design, so it involved field and laboratory testing and geotechnical modeling. The population was composed of the soils that make up the slope, located 4 km from the port of Paita, north of Peru. Four samples of collapsible soil were collected for physical, mechanical and chemical characterization. Therefore, tests of classification, specific gravity, volumetric weight, salts, sulfates and direct shear were carried out. The direct shear test was performed on five undisturbed block samples to examine the variation of strength parameters according to the degree of water saturation. Laboratory results classify these soils as sandy silt (ML), with a liquid limit of less than 28, plasticity index less than 25, a void ratio $e > 0.7$ and low dry density between 11-14 KN / m³.

The modeling was executed through the commercial Slide v.6 program, being focused on examining the variation of the safety factor in response to the change in degree of saturation, under drained conditions. Results of the stability analysis indicate that the safety factor varies proportional to the degree of saturation of the collapsible soil, with the most unfavorable condition for slope stability being a degree of saturation of 24.24%, and a seismic coefficient of 0.22 g. In this way the moisture content of these soils is limited to 7.51%, humidity above this value does not comply with the safety factor recommended by the regulations.

Keywords: Collapsible soil, degree of saturation, void ratio, slope stability.

Introducción

Las fallas superficiales de taludes en carreteras y terraplenes son problemas frecuentes a lo largo de Perú, ellos representan una carga significativa en los presupuestos de mantenimiento. Esta situación se agrava cuando se tienen taludes asociados a suelos colapsables, ya que generalmente durante su construcción, estos suelos tienen una alta resistencia al corte, presentando una consistencia rígida, lo que produce taludes estables. Sin embargo, conforme al paso del tiempo, estos suelos experimentan un ciclo de humedecimiento y secado, lo que da como resultado un aumento del contenido de humedad y una reducción en la resistencia al esfuerzo cortante debido a la disolución de los agentes cementantes.

Eventualmente, la reducción en la fuerza cortante resulta en la falla de los taludes usualmente después de un periodo significativo de humedecimiento. Las fallas en taludes compuestos por suelos colapsables son poco conocidas, además existen muy pocas investigaciones que proveen una guía acerca de cómo estudiar el comportamiento de estos suelos en la estabilidad de taludes.

El presente trabajo de investigación fue realizado para mejorar el conocimiento de la estabilidad de taludes conformados por suelos colapsables sometidos a diversos grados de saturación. La investigación incluye ensayos de laboratorio y modelamientos.

Los ensayos de laboratorio se centraron en la caracterización básica del suelo, la evaluación de la resistencia al corte, y las características del comportamiento del suelo ante el agua.

La investigación se ha desarrollado en cinco capítulos.

El capítulo I, refiere al planteamiento del problema, en ella se preguntó ¿Cómo es la incidencia del grado de saturación de suelos colapsables en la estabilidad de taludes del puerto

de Paita-Piura en el año 2019?; asimismo se determinaron los objetivos, importancia, alcance y limitaciones que se tuvieron para realizar esta investigación.

El capítulo II, contiene el estado de conocimiento acerca de las variables: suelos colapsables y estabilidad de taludes: Se comienza con los antecedentes, bases teóricas y la definición de términos básicos.

El capítulo III, se describen los materiales y métodos que se empleó para desarrollar esta investigación: enfoque, tipo, diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos así como las hipótesis, variables y su operacionalización.

En el capítulo IV, se presenta los resultados de la investigación, resultados de laboratorio, respecto a las características físicas, mecánicas y químicas del suelo, criterios para la identificación de los suelos colapsables, asimismo se realiza el modelamiento del talud para dos casos de análisis, estático y pseudoestático, variando las propiedades del suelo de acuerdo al grado de saturación y se comparan los resultados obtenidos con lo hallado por otros investigadores.

En el capítulo V se presentan las conclusiones obtenidas y se recomiendan algunos temas para futuras investigaciones.

Capítulo I

El Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

En los procesos de aperturas de carreteras para recepción de buques tanqueros de la zona norte de nuestro país, se presentan problemas de inestabilidad de taludes debido a la altura de los acantilados, como es el caso del Puerto de Paita, que presenta unos acantilados junto al mar de más de setenta metros de alto, con pendientes pronunciadas, estos durante la ejecución de obras de carreteras, requieren de la conformación de nuevos taludes. La base de este desarrollo se encuentra en la topografía a curvas de nivel para el dimensionamiento geométrico de la vía de acceso, sin embargo, uno de los grandes desafíos que se tiene es garantizar la estabilidad del talud para que la integridad de la vía sea sostenible durante su vida operativa.

Esto se agrava cuando estos taludes presentan grandes estratos con características de suelos colapsables en las zonas superficiales. Para Gaaver (2011), estos pueden ser definidos como suelos insaturados, que pueden mantener sustancialmente grandes alturas de taludes, soportando una gran cantidad de esfuerzos verticales sin mostrar una variación en su volumen, sin embargo, cuando entran en contacto con el agua o frente a un aumento de carga, estos suelos son susceptibles a una gran y repentina reducción de su volumen (Kalantari 2013).

Las fallas por deslizamiento en taludes, son problemas frecuentes en este tipo de obras de conformación de vías por lo que representan una inversión significativa en su mantenimiento (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego, 2015). Un deslizamiento se refiere “al movimiento de una masa de roca, tierra, o detritos pendiente abajo” (Suárez Díaz, 1998), este ocurre cuando los esfuerzos que tienen que actuar sobre ellos sobrepasan la resistencia de los materiales que la compone, esto puede ser producido por la gravedad, presión de poros, fuerzas inducidas por los movimientos sísmicos, entre otros. Estos deslizamientos ocasionan pérdidas de vida y daños significativos en las estructuras, por ello es necesario realizar una revisión exhaustiva acerca de la estabilidad de taludes en suelo y roca.

Por otra parte, en nuestro país existen muy pocas investigaciones que proveen de información sobre el efecto que tiene el comportamiento de estos suelos en el factor de seguridad de los taludes. Es importante mencionar además que la respuesta del suelo ante la humedad (es decir deslizamientos o asentamientos significativos), no puede ser predicha de antemano, por lo que se tiene un comportamiento incierto comprometiendo de igual manera a la estabilidad del talud. (Aisulu Zhakulina & Akhmetov, 2017). Es por ello que se ha visto conveniente ejecutar el cálculo de estabilidad, considerando el comportamiento de este suelo ante un aumento de humedad.

Los aspectos anteriores han sido considerados razones importantes que motivaron a realizar el presente trabajo, como es sabido los estudios de la estabilidad de taludes están tienen como fin la obtención de un talud económico y seguro, a través de las investigaciones de campo, análisis de laboratorio, evaluaciones técnicas, un apropiado programa de control en el terreno y experimentación, en la presente investigación se pretende dar criterios para tomar elegir los parámetros geotécnicos más razonables en el análisis de estabilidad de taludes que estén compuestos por este tipo de suelos.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

PG: ¿Cómo es la incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019?

1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cuáles son las propiedades físicas y parámetros geotécnicos de los suelos que conforman los taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019?

PE2: ¿Cuál será el factor de seguridad aceptable para la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019?

PE3: ¿Qué tipos de reforzamiento se deberá elegir para mantener la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

OG: Determinar la incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar las propiedades físicas y parámetros geotécnicos de los suelos que conforman los taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.

OE2: Precisar el factor de seguridad aceptable la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.

OE3: Recomendar el tipo de reforzamiento para la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.

1.4. Importancia y alcances de la investigación

De acuerdo a Kalantari (2013), los suelos colapsables son considerados como uno de los suelos más problemáticos al igual que los suelos expansivos, estos aparentan ser suelos con buena resistencia en su estado natural (seco), pero se consolidan rápidamente al entrar en contacto con el agua, generando asentamientos considerables. Generalmente se encuentran presentes en zonas áridas o semi áridas, los pavimentos y estructuras sobre estos suelos pueden tener daños severos y como resultado su seguridad es incierta.

Conveniencia.- es importante porque según el reglamento nacional de edificaciones (2017), los taludes con modificación geométrica de laderas para fines de obras de ingeniería civil deben ser estabilizados y deben cumplir con un coeficiente de seguridad mayor a 1.5 (análisis estático) y 1.25 (análisis sísmico). Para ello se requiere del desarrollo del criterio de evaluación en mecánica de suelos. La presente investigación radicará en la determinación del factor de seguridad y la caracterización geotécnica para la estabilidad del talud del puerto de Paita, esta información permitirá a la empresa Penta Tank Terminals S.A., corregir el estado actual del talud ubicado en sus instalaciones de Paita.

Relevancia social.- la presente información permitirá prevenir los posibles deslizamientos ante movimientos sísmicos y fenómenos naturales que se presenten, evitando que esta manera los problemas que podría ocasionar en tres aspectos: aspecto medioambiental, la contaminación visual y la polución de este material en lugares aledaños, aspecto económico, destrucción de estructuras civiles en la parte superior del talud, daños materiales a los equipos dispuestos en sus operaciones, costos de remoción de los materiales caídos y los costos de estabilización final del talud, aspecto social, lesiones a los colaboradores de la empresa y pérdida de vida humana.

Adicionalmente esta investigación permitirá realizar recomendaciones en el sistema de refuerzo que se requiere lograr la estabilización de dichos taludes.

Implicación práctica.-La investigación contribuye a mejorar el análisis de los aspectos referidos al comportamiento de suelos colapsables, dando solución a la incertidumbre que existe acerca su efecto en el factor de seguridad de los taludes. Un conocimiento adecuado del comportamiento de los taludes frente a las posibles fallas que pueda presentar, repercute enormemente en los costos y la seguridad de la obra; por ello, que se realizó investigaciones de campo (in situ) y laboratorio, para poder obtener las características geomecánicas del terreno, de esta manera se recomienda un sistema de refuerzo para lograr la estabilidad en dichos taludes.

Además, contribuye con en el interés del tesista para acrecentar el conocimiento y lograr la obtención del título académico de ingeniero civil.

Valor teórico.- Esta investigación aporta información conceptual nutrida y consistente acerca del efecto del comportamiento de los suelos colapsables en la estabilización de taludes Asimismo, se aporta material teórico respecto a las, propiedades y características de este tipo de suelos en Paita. Además, el estudio desarrollado permite determinar los factores que limitan el uso de este tipo suelos para diversas construcciones, por ello, a partir del desarrollo de la presente investigación hacia adelante, se pueden tomar medidas correctivas en las causas y efectos. Es decir, se coadyuva en el planteamiento de soluciones para la estabilidad de taludes en esta zona y de esta manera se asegura la durabilidad de las estructuras que se construyan lo que a su vez generará un impacto positivo en esta zona.

Utilidad metodológica.- los procedimientos realizados para la caracterización geotécnica y el cálculo del factor de seguridad para este talud contribuyen a un mejor conocimiento del comportamiento de los suelos colapsables en Paita. Con la aplicación de teorías, principios y herramientas geotécnicas, la presente investigación plasma de manera muy detallada la elección del método de análisis de estabilidad de taludes, con presencia de este tipo de suelos y así poder obtener un factor de seguridad, que ayuda a entender mejor el problema, esto se puede replicar, en otras poblaciones, de tal manera poder mejorar la identificación de suelos colapsables de manera eficaz. Contribuye al desarrollo de la investigación científica.

Alcance temporal, se realizó en el primer semestre del año 2019.

Alcance social, trabajadores y pobladores aledaños a la planta de almacenamiento de líquidos Penta Tanks.

Alcance espacial, se realizó en el puerto de Paita, distrito y provincia de Paita, departamento de Piura.

1.5. Limitaciones de la investigación

La presente investigación está limitada a los documentos relacionados al terreno y el suelo del área de estudio. Existen limitaciones para permanecer a tiempo completo en la zona, ya que se vienen ejecutando obras a cargo de diferentes subcontratas.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Quijano y Tenjo (2018), en su investigación titulada: *Análisis de efectividad en la estabilización de suelos colapsables en el tramo II de la transversal el bosque en el municipio de Florida Blanca, Santander*, realizada en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Colombia, estudiaron suelos colapsables clasificados como arenas limosas con índice de colapso del orden de 6.05 a 8.13 rango de valores con un grado de colapsabilidad moderado a moderadamente alto, para este tipo de suelos se analizaron tres métodos para su estabilización: mejoramiento mecánico con material granular, pre humedecimiento del suelo hasta superar la humedad óptima de compactación e inclusión de cal en porcentajes de 5% y 7% . De estos se concluye que el método más eficiente para la estabilización del suelo estudiado es la pre-humectación del material, esto se realiza con el objetivo de romper los contactos cementantes de las partículas menores, aplicando este método el índice de colapso se redujo en un 91.90%, siendo el nuevo índice de colapso clasificado como ligero. Estos autores recomiendan tener en cuenta la presencia de agua y su debido direccionamiento, ya que este es el factor más importante para estimular el colapso y puede tener diversos orígenes, como ascenso del nivel freático, concentraciones de aguas pluviales, filtraciones por roturas de tuberías, etc.

Aisulu, Akhmetov, y Zhakulin (2017), en su investigación titulada: *Collapsible soil properties research*, realizaron la caracterización de suelos colapsables clasificados como depósitos cuaternarios eólicos, en la región montañosa de la ciudad de Almaty: República de kazakhstan, para analizar los esfuerzos y deformaciones en los taludes, que conforman la vía de acceso a esta ciudad y su consecuente impacto en los muros de contención existentes. De los resultados de laboratorio se presentan características de densidad entre 15-16 KN/m³ y porosidad $e > 0.9$ además se comprobó la disminución de los parámetros mecánicos, luego de saturar la muestra de suelo (el ángulo de fricción varió de 22° a 16° y la cohesión de 35 a 21). Para la estabilidad de taludes se realizó un análisis estático, en dos dimensiones, con un modelo constitutivo elástico plástico. El resultado del análisis numérico realizado en plaxis 2D, muestra que la falla en los muros de contención se da debido a las deformaciones horizontales máximas del talud. Los autores indican que los máximos asentamientos de los suelos colapsables se presentan en condiciones saturadas, donde los valores de cohesión, el ángulo de fricción interno y el módulo de elasticidad se degradan. Se concluye que el muro de contención no es estable y el deslizamiento ocurre en todo el estrato de que presenta suelos colapsables, esto debido que se presentan defectos en el sistema de drenaje y principalmente en el diseño de reforzamiento del talud con geo sintéticos. Estos aspectos han llevado a una disminución en el factor de seguridad. Ya que el talud está sujeto a condiciones atmosféricas, lluvias torrenciales y actividad sísmica durante el año. Finalmente, las propiedades físicas del suelo en un estado de saturación constituyen la condición más desfavorable para la estabilidad del talud.

Londoño y Ardila (2016), en su artículo de investigación titulado: *Comportamiento de parámetros geomecánicos en taludes compuestos por suelos expansivos*, realizan el análisis del factor de seguridad que indica el comportamiento que presentan estos suelos, cuando se ven afectados por factores como el agua y las condiciones de sismo. El problema abordado es principalmente el cambio de volumen generado por la presencia de agua en el suelo. Para el modelamiento, se tuvieron en cuenta tres tipos de suelos (Limo inorgánico de alta plasticidad

MH, arcilla inorgánica de alta plasticidad CH y arcilla inorgánica de baja plasticidad CL), se obtuvo un coeficiente sísmico de 0.25, considerado como una amenaza sísmica alta, para después llevarse a cabo 144 modelos de taludes haciendo uso del software Slide®, con una geometría determinada, variando las alturas (10 m a 20 m) y los ángulos de inclinación (30°-75°) además se empleó para el análisis de taludes el método aproximado del equilibrio límite Bishop simplificado. Se concluye que el factor de seguridad es inversamente proporcional al ángulo de inclinación y al R_u en condición dinámica y estática. De los suelos analizados se concluye que a mayor cohesión mayor atracción y unión de partículas evitando el proceso de remoción del talud y se aumenta el factor de seguridad.

Guillén (2004), en su investigación titulada: *Estabilidad de taludes en los departamentos de Guatemala y alta Verapaz, casos reales*, realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, sostiene que una de las causas para la falla de taludes es la filtración de agua que se retiene en los estratos arcillosos, ya que estos por su baja permeabilidad producen la pérdida de consolidación en el suelo, ocasionado una combinación con las cargas verticales, que se traducen en forma de deslizamientos continuos. Además, menciona que, en el caso de taludes de mucha altura y pendientes muy pronunciados, expuestos a las condiciones ambientales y geológicas, como es el caso de estudio, se requiere del diseño de plataformas, utilizando para ello datos topográficos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Flores (2018) en su investigación titulada: *Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del puesto de salud Intiorko, Distrito de Ciudad Nueva, Departamento de Tacna-2017*, realizada en la Universidad Privada de Tacna, indica que para conocer el potencial de colapso de un suelo, se deben identificar las propiedades físicas, mecánicas y químicas, asimismo indica que a la presión de 1.00 kg/cm² no se generó problemas de colapso, sin embargo aumentando la presión a 2.00 kg/cm² se presenta un problema de colapso moderado de acuerdo al ensayo de colapso in situ realizado. Se concluye que las propiedades que influyen en

potencial de colapso son: la cantidad de material cementante, la densidad natural seca, el contenido de humedad, límite líquido, relación de vacíos y las sales solubles totales. El autor recomienda, que, para el diseño de cimentaciones de todo proyecto de mediana envergadura, se deben realizar en cuenta los ensayos estándares como densidad seca y límite líquido, para contrastar con la gráfica propuesta por Holtz y Hilf, que se presenta en la E.050 Suelos y Cimentaciones, de esta forma determinar si se requiere de realizar un mayor análisis del posible colapso.

Fernández (1998), en su tesis de maestría titulada *“Investigación del conglomerado colapsable de la Cano-Victor Arequipa”*, realizada en la Universidad Nacional de ingeniería, tuvo como objetivo principal conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos colapsables, de esta región, en este caso fueron estudiados suelos compuestos por un conglomerado de partículas gruesas, que forman parte de una matriz de arenas, limos y arcillas. Se realizaron ensayos estándar de laboratorio (granulometría, límites Atterberg, gravedad específica, peso volumétrico y consolidación). De los resultados se concluye que la matriz de suelo está compuesta por enlaces de (carbonatos de calcio) y arcillas con minerales de montmorillonita. El autor señala que, por encontrarse en una zona árida con una precipitación promedio anual de 18 mm, este suelo posee un contenido de humedad bajo (menor a 2%), por ende su resistencia al corte en este estado seco es sumamente alto, sin embargo cuando el suelo es humedecido, colapsa dentro de un rango de humedad del 5%, sin embargo el cambio de volumen es mínimo (menor al 1 %) además de esto, se produce la pérdida de la resistencia al corte del suelo, causando el colapso de la estructura por acción del peso propio.

Condori (2012), en su investigación titulada *“Investigación del conglomerado especial en la ciudad de Tacna”*, realizada en la universidad Nacional de Ingeniería indica que en el conglomerado ubicado en Pampas de Viñani, posee una matriz de arena, limos y sales, por lo que se trata de un suelo colapsable, además reúne las características de estos: bajo contenido de agua, además de los ensayos realizados, se concluye que la mineralogía está constituida por

partículas de oligoclasa-andesita, halita, augita y yeso, esto explica la razón del colapso ya que al humedecerse el suelo se rompen los enlaces de flocculación. La autora recomienda realizar ensayos con muestras gigantes utilizando equipos de corte y triaxial, en estado seco y húmedo, de esta manera, se reflejará el comportamiento real de este suelo frente a un incremento de agua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelos Colapsables

2.2.1.1. Definición de Suelos Colapsables

Es importante y relevante mencionar lo que se entiende por suelos colapsables, para luego abordar el tema central: caracterización de los parámetros geo mecánicos de estos, puesto estos están directamente vinculados con el análisis de estabilidad de taludes.

Los suelos colapsables abarcan un campo amplio que ha sido investigado y definido por varios autores, en este trabajo haremos referencia solo a los más relevantes:

Para Knodel (1992) estos son definidos como suelos insaturados, que tienen un reacomodamiento radical de partículas y una notable disminución en su volumen, cuando entran en contacto con el agua, al adicionar una carga o ambos. Generalmente estos suelos se encuentran en regiones áridas o semiáridas y poseen una estructura pobre, con contenidos de humedad menores a la saturación y valores bajos de densidad.

Lawton et al. (1992), citado por Mohammed, Mudhafar y Mohammed (2006, p.159) indican que los suelos colapsables son aquellos suelos susceptibles a grandes cambios volumétricos cuando están saturados, existen numerosos tipos de suelos que están considerados dentro de la categoría de suelos colapsables, incluyendo los depósitos aluviales, los cuales presentan baja densidad y cohesión, apreciable resistencia mecánica en estado seco, sin embargo son susceptibles a deformaciones significantes como resultado de la infiltración de agua.

Kalantari (2013) sostiene que los suelos colapsables sufren cambios repentinos en su volumen y colapsan con o sin incremento de cargas, esto ocurre tan pronto como se llega a sobrepasar el 50 % de la saturación, ya que no es necesario una saturación completa para que estos colapsen.

Howayek, Huang, Bisnett y Santagata (2011) afirman que son suelos que mantienen una estructura interna estable en condiciones insaturadas, pero son susceptibles a un cambio apreciable de volumen inducido por la filtración de agua solamente o en combinación con una carga externa (incluyendo el peso propio) y las fuerzas dinámicas, sin embargo el estudio en general de estos suelos es limitado al colapso producido por una carga estática externa, mientras el colapso inducido por fuerzas dinámicas es usualmente estudiado en el contexto del fenómeno de la licuación.

Gaaver (2012) manifiesta que estos pueden ser definidos como suelos insaturados, que pueden mantener sustancialmente grandes alturas, soportando una gran cantidad de esfuerzos verticales sin mostrar una variación en su volumen, sin embargo, cuando entran en contacto con el agua o frente a un aumento de carga, estos suelos son susceptibles a una gran y repentina reducción de su volumen estos reducen su resistencia al corte, pierden su fuerza experimentando asentamientos excesivos. La reducción de volumen es irre recuperable y se lleva a cabo rápida y repentinamente y no se pueden tomar medidas para detener el problema una vez que se inicia.

Según Redolfi (2007, p.2), forman parte de los llamados suelos metaestables “(...) cuyo comportamiento no sólo está en relación directa con las solicitaciones mecánicas, sino que también está controlado por factores externos al suelo, por ejemplo, factores químicos, variaciones ambientales, etc.”

A decir la Norma Técnica Peruana, E.050 Suelos y cimentaciones (2006) los define como “suelos que cambian violentamente de volumen por la acción combinado individual de las

siguientes acciones: a) al ser sometidos a un incremento de carga o b) al humedecerse o saturarse”

2.2.1.2. Origen de Suelos Colapsables y causas del colapso

Usualmente han sido encontrados en regiones áridas o semiáridas y tienen una pobre estructura de suelo, con gran porosidad y un contenido de humedad inferior al de saturación (Knodel, 1992).

Al respecto Carrillo (1991, p.2), menciona lo siguiente:

Se han detectado suelos colapsables en Europa, Sudáfrica, parte de Asia, Norteamérica y Sudamérica. En países como USA, España, Rusia, Rumania, Francia, Alemania, China, Uruguay, Argentina y Perú entre otros. En USA se encuentran los suelos del Valle Central de California (Valle de San Joaquín), donde llegaron a producirse asientos de 4 a 5 m por esta causa, por ello se afirma que la aridez del clima parece tener más importancia que el modo de deposición.

La estructura de estos suelos consiste principalmente en partículas de suelo, unidas mediante algún material cementante como pueden ser minerales de arcilla, carbonato de calcio, yeso, entre otros. La introducción de agua en el suelo disuelve estas uniones, las cuales tienden a densificarse bajo cualquier tipo de carga a compresión. (Lawton et al., 1992 citado por Kalantari 2013)

Típicamente la estructura de estos posee una baja densidad, y está compuesto por sedimentos no consolidados, que consisten en partículas arcilla, carbonato de calcio, yeso o hierro ferroso (Knodel, 1992).

Debido a este tipo de estructura estos suelos son débiles al agua, por lo que cuando se humedece, el flujo de agua descompone la estructura del suelo, entonces se pierde la fuerza de adhesión y causa que el suelo se comprima.

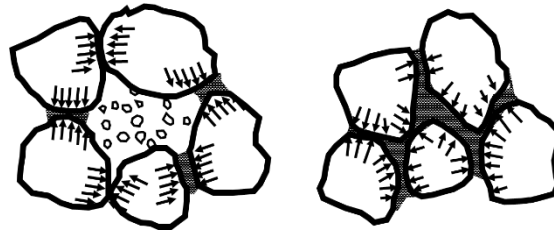


Figura 1: Estructura de suelo antes y después del humedecimiento. Rogers (1995)

Se ha detectado que el mecanismo de colapso en suelos granulares son la disolución de la cementación por sales solubles o la destrucción de un ordenamiento paralelo de agregados de arcilla residual que entrelazaban a los granos. El colapso total del suelo puede tomar extensos periodos de tiempo incluso años. A continuación, se presenta los tipos de estructura del suelo más comunes en estos suelos.

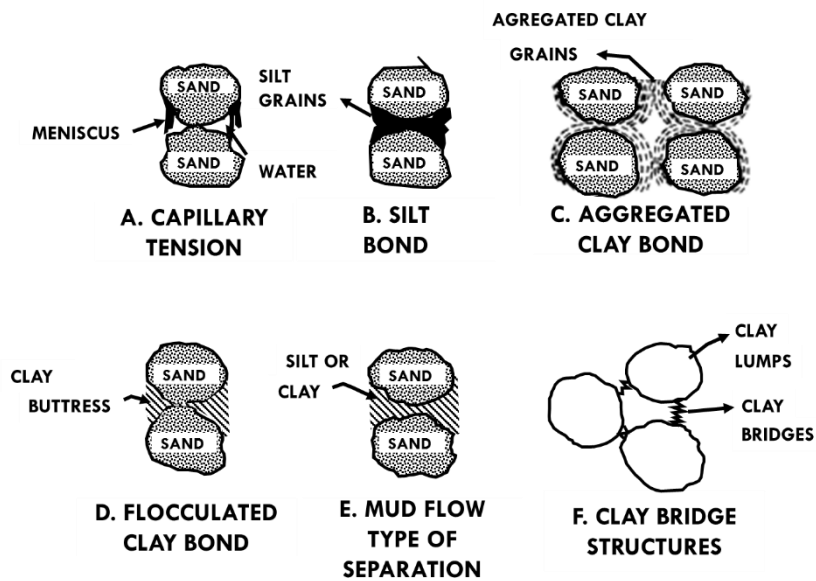


Figura 2: Estructuras típicas de suelos colapsables según Clemence y Finbarr (1981)

2.2.1.3. Clasificación de los Suelos Colapsables

Diversos autores clasifican estos suelos de acuerdo a su formación entre ellos: Carrillo (1991) señala que existen suelos colapsables de formación eólica, coluvial, aluvial, residual, de ceniza volcánica y rellenos hechos por el hombre.

Knodel (1992) manifiesta que los suelos colapsables se han encontrados alrededor del mundo en depósitos de suelo eólicos, rellenos, coluviales, flujos de lodo, aluviales, residuales o artificiales.

Según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010), citado por Quijano & Tenjo R. (2018), se distinguen principalmente cuatro tipos de suelos colapsables:

- a. Suelos aluviales y coluviales
- b. Suelos eólicos
- c. Cenizas Volcánicas
- d. Suelos residuales

Los suelos aluviales y coluviales son depositados por la acción de las precipitaciones y la gravedad, los suelos eólicos son depositados por acción del viento, las cenizas volcánicas, como indica su nombre son depositadas por volcanes activos o recientemente extintos finalmente los suelos residuales son depósitos producto de la meteorización química.

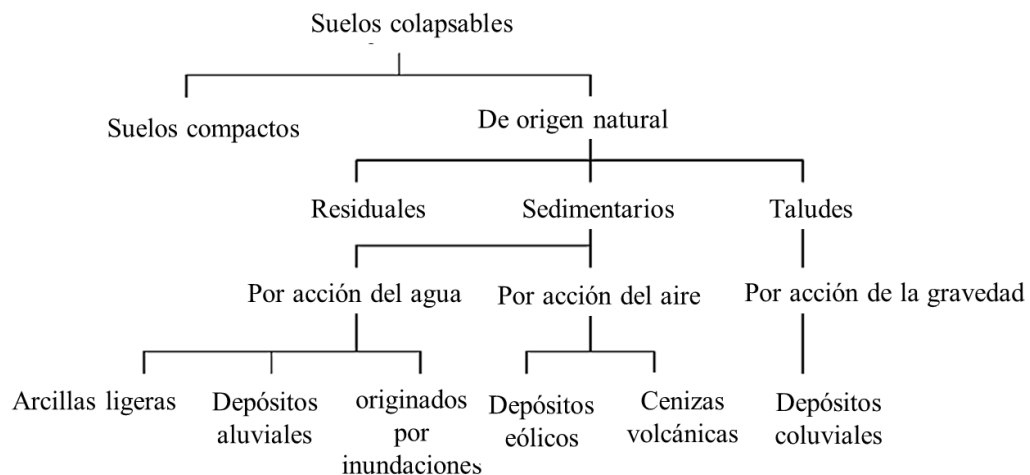


Figura 3: Familia de suelos colapsables Rogers (1992)

Uriel y Serrano (1973, 1974), citado por Redolfi (2007), clasifican en dos grupos a estos suelos, basado en el tipo de colapso que presentan:

Grupo I: Suelos en los que tiene lugar un rápido cambio de la relación entre presiones efectivas y las deformaciones sin que se alcance la resistencia última del material. De acuerdo con esto la causa del colapso es únicamente el cambio de las presiones efectivas. A este grupo pertenecen los limos o arcillas cementadas y las rocas de gran porosidad. Cuando se ensaya a humedad constante, se detecta una notable modificación de su módulo de compresibilidad al alcanzar un cierto valor las presiones efectivas.

Grupo II: Suelos en los que, sin la presencia o cambio de las condiciones que producen el colapso, no hay cambio abrupto en la relación presión-deformación. Tal es el caso de los loess y algunas arcillas que contienen sulfatos. Si se ensayan a humedad constante, la relación tensión-deformaciones es una curva suave y continua y sin agudos quiebros. La saturación produce, sin embargo, un importante cambio volumétrico, debido probablemente a un incremento de la presión de los poros que origina el agotamiento de la resistencia al corte del suelo.

2.2.1.4. Parámetros físicos de los Suelos Colapsables

Para Reginatto (1997), citado por Redolfi (2007) estos suelos presentan características comunes como:

- Estructura macroporosa, con relación de vacíos (e), entre relativamente alto a muy alto
- Granulometría predominantemente fina, con predominio de fracción de limos y arcilla. Usualmente la cantidad de arcilla es escasa, sin embargo, tiene una influencia importante en el comportamiento mecánico de la estructura intergranular
- Estructura mal acomodada, con partículas de mayor tamaño separadas por espacios abiertos, y unidas entre sí por acumulaciones o “puentes” de material

predominantemente arcilloso. En muchos casos se presentan cristales de sales solubles insertados en tales puentes o uniones arcillosas.

Rogers (1995) cita como características típicas, de la mayoría de suelos colapsables, las siguientes:

- Estructura suelta
- Alto índice de vacíos
- Baja densidad seca
- Alta porosidad
- Proviene de depósitos relativamente jóvenes o recientemente alterados.
- Alta sensibilidad y baja fuerza de enlace entre las partículas

Para Carrillo (1991) estos suelos presentan estructura suelta, manifestada por una relación de vacíos relativamente alta y por otro lado un contenido de agua menor al de saturación, además se presentan partículas redondas con algún tipo de cementación, la cual se destruye cuando el suelo absorbe agua hasta saturarse. En nuestro país se ha presentado este fenómeno en suelos limo-arenosos sueltos, suelos coluviales de relleno y de origen volcánico entre otros. Una de las características típicas de los suelos colapsables en Perú, es la baja densidad y grado de saturación bajo.

Knodel (1992) manifiesta que existen variedades de factores y condiciones que se presentan en estos suelos, sin embargo, las siguientes propiedades pueden ser aplicadas de manera general:

- Su comportamiento es afectado por varios factores, incluida la mineralogía, porcentaje de arcilla, forma de los granos, distribución y tamaño de las partículas, relación de vacíos, tamaño y forma de poros, agentes cementantes y otros. Los valores de los límites de Atterberg en combinación con otras propiedades de suelo son altamente utilizadas para la identificación de estos suelos. Muchos suelos colapsables tienen

límites líquidos inferiores a 45 y poseen una plasticidad incluso por debajo de 25, y usualmente mucho más bajo, siempre en el rango no plástico.

- El contenido de agua está por debajo del grado de saturación que es requerido para el colapso, pero el óptimo porcentaje de saturación para el colapso máximo está usualmente entre 13 y 39 %. No es necesario la aplicación de una carga adicional para la ocurrencia del colapso, basta con humedecer el suelo.

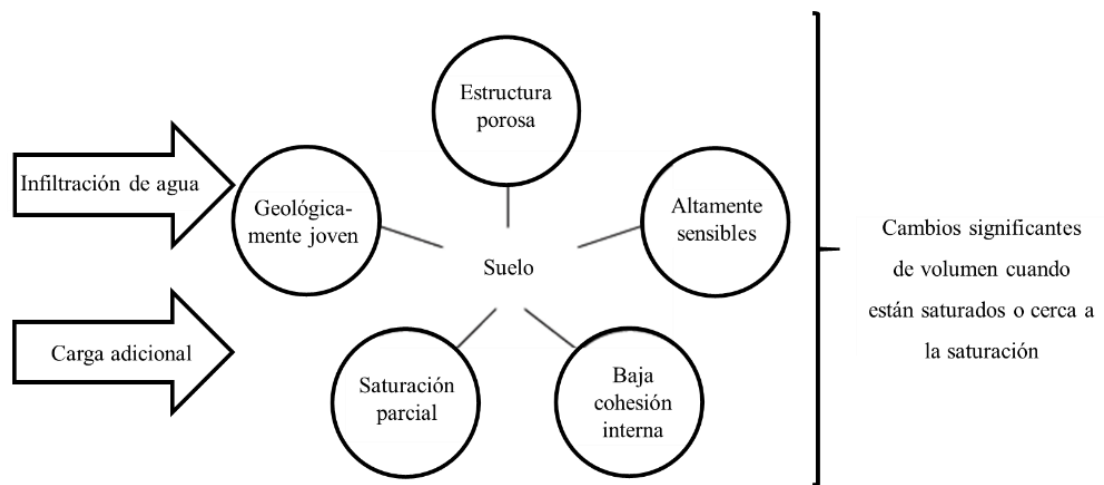


Figura 4: Esquema de las características clave de suelos colapsables Howayek et al. (2011)

Para la identificar un suelo colapsable una variedad de criterios han sido propuestos, muchos de estos criterios se determinan en base a la relación de vacíos, densidad natural seca, grado de saturación, límites de Atterberg, humedad natural y porcentaje de suelo fino. A continuación, se presenta un resumen de estos criterios:

Tabla 1

Criterios para la identificación de suelos colapsables (Das 2007; Luttenegger 1998)

Investigador	Año	Criterios
Denisov	1951	<p>Coeficiente de hundimiento</p> $K = \frac{\text{relación de vacíos en el límite líquido}}{\text{relación de vacíos natural}}$ <p> $K = 0.5-0.75$: altamente colapsable $K = 1.0$: no colapsable $K = 1.5-2$: Suelos no colapsables </p>
Clevenger	1958	<p>Si el peso específico seco es menor que 12.6 KN/m³, el asentamiento será grande; Si el peso específico seco es mayor que 14 KN/m³ el asentamiento será pequeño</p>
Prikonski	1952	$K_D = \frac{\text{contenido de humedad natural} - \text{límite plástico}}{\text{índice de plasticidad}}$ <p> $K_D < 0$: suelos altamente colapsables $K_D > 0.5$: suelos no colapsables $K_D > 1$: suelos expansivos </p>
Gibbs	1961	<p>Relación de colapso $R = \frac{\text{Contenido natural de humedad}}{\text{Límite líquido}}$</p> <p>Esto se puso en forma gráfica</p>
Soviet Building Code	1962	$L = \frac{e_o - e_L}{1 + e_o}$ <p>donde e_o = relación de vacíos natural y e_L = relación de vacíos en el límite líquido. Para el grado de saturación natural menor que 60 %, si $L > -0.1$, el suelo es un suelo colapsable.</p>
Feda	1964	$K_L = \frac{W_0}{S_r} - \frac{LP}{IP}$ <p>donde W_0 = contenido de humedad natural, S_r = grado de saturación natural, LP = límite plástico e IP = índice de plasticidad. Para $S_r < 100$ %, si $K_L > 0.85$, el suelo es un suelo colapsable.</p>
Benites	1968	<p>Una prueba de dispersión en la que 2 g de suelo se dejan caer en 12 ml de agua destilada y la muestra se cronometra hasta que se dispersa; los tiempos de dispersión de 20 a 30 s se obtuvieron para los suelos colapsables en Arizona.</p>
Handy	1973	<p>Loess de Iowa con contenido de arcilla (< 0.002 mm):</p> <p> < 16 % : alta probabilidad de colapso 16-24 % : probabilidad de colapso 24-32 % : menos de 50% de probabilidad de colapso > 32% : suele ser seguro contra el colapso </p>

2.2.1.5. Métodos de Identificación

Pruebas de campo

Una de las pruebas de campo que se realiza para identificar, este tipo de suelos es la llamada “Prueba salchicha” (Clemence & Finbarr 1981, citado por Quijano et al. 2018), esta consiste en la obtención de un bloque de suelo de aproximadamente 500 cm³, de un pozo de prueba, este se divide en dos partes y se moldean hasta que sean casi iguales en volumen, una de ellas se humedece y se moldea hasta formar una bola húmeda, finalmente se comparan las dos muestras, si la muestra humedecida es obviamente más pequeña, entonces es un indicio de que se tienen suelos colapsables.

La prueba de carga de placas, es típicamente utilizada para la evaluación, de las presiones admisibles en cimentaciones, y se realiza directamente sobre la superficie del suelo. El ensayo consiste en introducir agua en el suelo y se registra el desplazamiento resultante debido a la humedad.

Ensayos de laboratorio

Thomton y Arulanandan (1975) y Nowatzki (1985) citados por knodel (1992) manifiestan que debido a la que estos suelos presentan bajos pesos unitarios, la densidad natural seca es un buen parámetro para determinar el potencial de colapso. Otra de las propiedades que comúnmente usadas son contenido de humedad, porosidad, límite líquido, porcentaje de saturación, límite plástico, y gravedad específica. Existe un criterio de aplicación sencillo que solo requiere la densidad natural seca y el límite líquido.

Este criterio establece que los poros en una masa de suelo deben ser lo suficientes para contener el agua necesaria, hasta que se alcance el límite líquido. Cuando estos suelos se encuentren saturados deben tener, deben contener un contenido de agua mayor al del límite líquido. El límite liquido es un contenido de agua determinado por un ensayo estándar de laboratorio (límites de Atteberg), el cual representa la mínima condición plástica del suelo o la

condición en la se pasa al estado líquido. En el caso de los suelos colapsan debido a que presentan grados de saturación mayores al del límite líquido.

El ensayo de consolidación unidimensional es otra de las pruebas para la determinación del potencial de colapso. Una muestra inalterada con un peso específico y humedad conocida, es introducida en el anillo de consolidación. La muestra puede ser sometida a cargas de diseño o las condiciones de carga observadas en el campo. El potencial de colapso puede ser evaluado en base en base al cambio en la altura de la muestra (volumen), cuando se humedece, Jennigs y Knight (1975), citado por knodel (1992), han sugerido algunos valores para el potencial de colapso, los cuales son mostrados a continuación:

Tabla 2
Criterios de Colapsabilidad según Jennigs y Knight (1975)

Cambio de volumen (%)	Severidad del problema
0-1	Sin problema
1-5	Problema moderado
5-10	Problema
10-20	Problema severo
>20	Problema muy severo

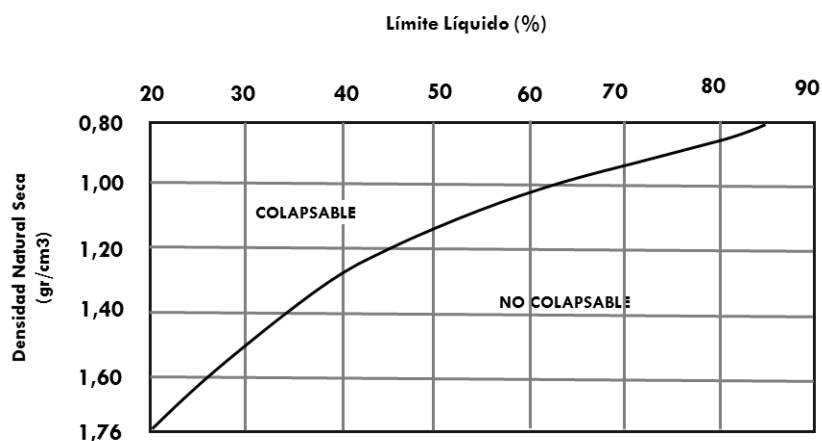


Figura 5: Criterios del Potencial de Colapso: E.050 Suelos y Cimentaciones

Desde el punto de vista ingenieril la susceptibilidad al colapso de un suelo empieza a ocasionar problemas, cuando el potencial de colapso sobrepasa de 6 a 8 %, cabe resaltar que los daños que puede ocasionar dependen de su estructura específica y del sitio de estudio.

(Nowatzki 1985, citado por Knodel 1992)

Los resultados de los ensayos de consolidación, límite líquido y densidad natural seca, son considerados indicadores confiables de la susceptibilidad al colapso de un suelo y pueden ser complementados usando otros criterios de caracterización. La consolidación es el ensayo recomendado como primer de caracterización de suelos colapsables, sin embargo, se debe reconocer que este ensayo, con refleja las condiciones reales de campo porque las muestras son sumergidas en laboratorio, sin embargo el colapso del suelo in situ ocurre con un porcentaje crítico de humedad, menor al de saturación.

Para que el ensayo de consolidación sea confiable, es de extrema importancia la obtención de muestras inalteradas representativas del suelo en cuestión. Deben ser obtenidos cuidadosamente en bloques, apropiadamente protegidos y transportados al laboratorio, de esta manera se obtendrán mejores resultados.

2.2.1.6. Soluciones ingenieriles en suelos Colapsables

Knodel (1992), señala que se han muchos métodos han sido utilizados para el tratamiento de estos suelos. El método depende de varios factores, entre ellos el espesor del depósito de suelo colapsable, el tipo de estructura a construir, los asentamientos permisibles, la exposición de la cimentación a la humedad y la presión impuesta al suelo por la estructura. Para prevenir o minimizar el daño que pueden ocasionar estos suelos, se pueden utilizar los siguientes tratamientos:

- Inducir al colapso, humedeciendo el suelo antes de la construcción, también llamado hidrocompactación.
- Estabilización del suelo

- Remoción de los estratos de suelos colapsables
- Compactación
- Control de humedad
- Diseño estructural tolerante

La estabilización de suelos colapsables puede ser realizada mediante dos métodos que son:

Estabilización física: Es realizada mediante el uso de compactación dinámica. Consiste en excavar la capa superior del suelo, procediéndose luego a la compactación de este mediante el uso de un pisón. De esta manera se aumenta la densidad seca del suelo.

Estabilización química.: Se logra a través de la adición de cemento Pórtland al suelo, pudiendo también utilizarse cal, o materiales bituminosos. Sin embargo, se debe tener en cuenta, que en suelos con presencia de materia orgánica en un porcentaje mayor al 2%; la acción estabilizadora del cemento es neutralizada. (Campos Rodríguez & Guardia Niño de Guzmán, 2005).

Alternativamente se pueden “utilizar columnas de grava que, al ser construidas con adición de agua, producen un colapso de la masa del terreno y, a la vez lo dejan más resistente gracias a la aportación de grava y a su compactación”. (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

2.2.2. Estabilidad de taludes

2.2.2.1. Definición de estabilidad de taludes

Es importante y relevante mencionar lo que se entienda por taludes, para luego abordar en el tema central (estabilidad de taludes), puesto que éstas están inmersas en una concepción del talud.

Concepciones de taludes

Los taludes constituyen un campo inmenso que se ha sido investigado y definido por varios autores, en este trabajo haremos referencia sólo a los más relevantes:

Para Braja M. Das (2001, p.339) “una superficie de terreno expuesta situada a un ángulo con la horizontal se llama talud o pendiente no restringida y puede ser natural o construida”

Según Gerscovich (2013), citado por Mendoza (2016), se denomina talud a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo que forma un ángulo con la horizontal.

Suarez (1998) manifiesta que, un talud o ladera, es una masa de tierra que no es plana, sino que posee una pendiente. Técnicamente se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural, y talud cuando se conformó artificialmente.

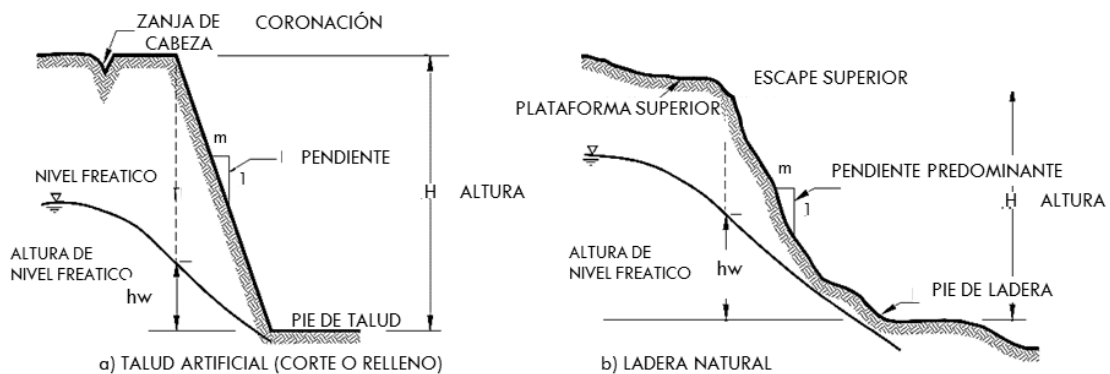


Figura 6: Elementos constitutivos de taludes y laderas. Suarez (1998)

Concepciones estabilidad

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cual será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. (Ayala C. 1991, citado por Cabana O. 2016)

De lo anteriormente descrito se puede concluir que la estabilidad de taludes consiste en un procedimiento de cálculo, el cual implica determinar y comparar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie de falla con la resistencia cortante del suelo. (Braja, 2001)

“El análisis de estabilidad permite diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad y definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadoras que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales” (Gonzales et al.2002, p 433)

2.2.1.2. Factores que inciden en la estabilidad de un talud

Para Gonzales et al. (2002) los factores condicionantes que inciden en la estabilidad de un talud son:

- Estratigrafía y litología
- Estructura geológica
- Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales
- Propiedades físicas, resistentes y deformacionales
- Tensiones naturales y estado tenso-deformacional

Asimismo, los factores desencadenantes de la inestabilidad son:

- Sobrecargas estáticas

- Cargas dinámicas
- Cambios en las condiciones hidrogeológicas
- Factores climáticos
- Variaciones en la geometría
- Reducción de parámetros resistente

Por otra parte, para Budhu (2007), citado por Valladares (2015), los principales factores que afectan la estabilidad de un talud natural o diseñado son:

a) Erosión

Factores como el agua y el viento son capaces de modificar la geometría de un talud y en consecuencia los esfuerzos a los que está sometido.

b) Lluvia

Durante este proceso los taludes se ven afectados debido a la saturación de los suelos, y que se produce una disminución en la resistencia al esfuerzo cortante.

c) Sismo

Estos adicionan fuerzas dinámicas a las fuerzas estáticas actuantes, provocando esfuerzos cortantes dinámicas que debilitan al suelo.

d) Aspectos geológicos

Los aspectos geológicos no detectados durante la exploración de campo, aumentan la incertidumbre en la estabilidad de un talud.

e) Cargas externas

La adición de cargas externas no controladas en la corona de un talud provoca un aumento de las fuerzas actuantes en la masa del suelo, lo cual puede llevar a la falla del talud.

f) Excavación y/o rellenos

Al realizarse una excavación al pie de un talud, el esfuerzo total se disminuye, esto genera un incremento negativo en la presión de poros del suelo. Durante este proceso puede presentarse una falla ya que se reduce la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

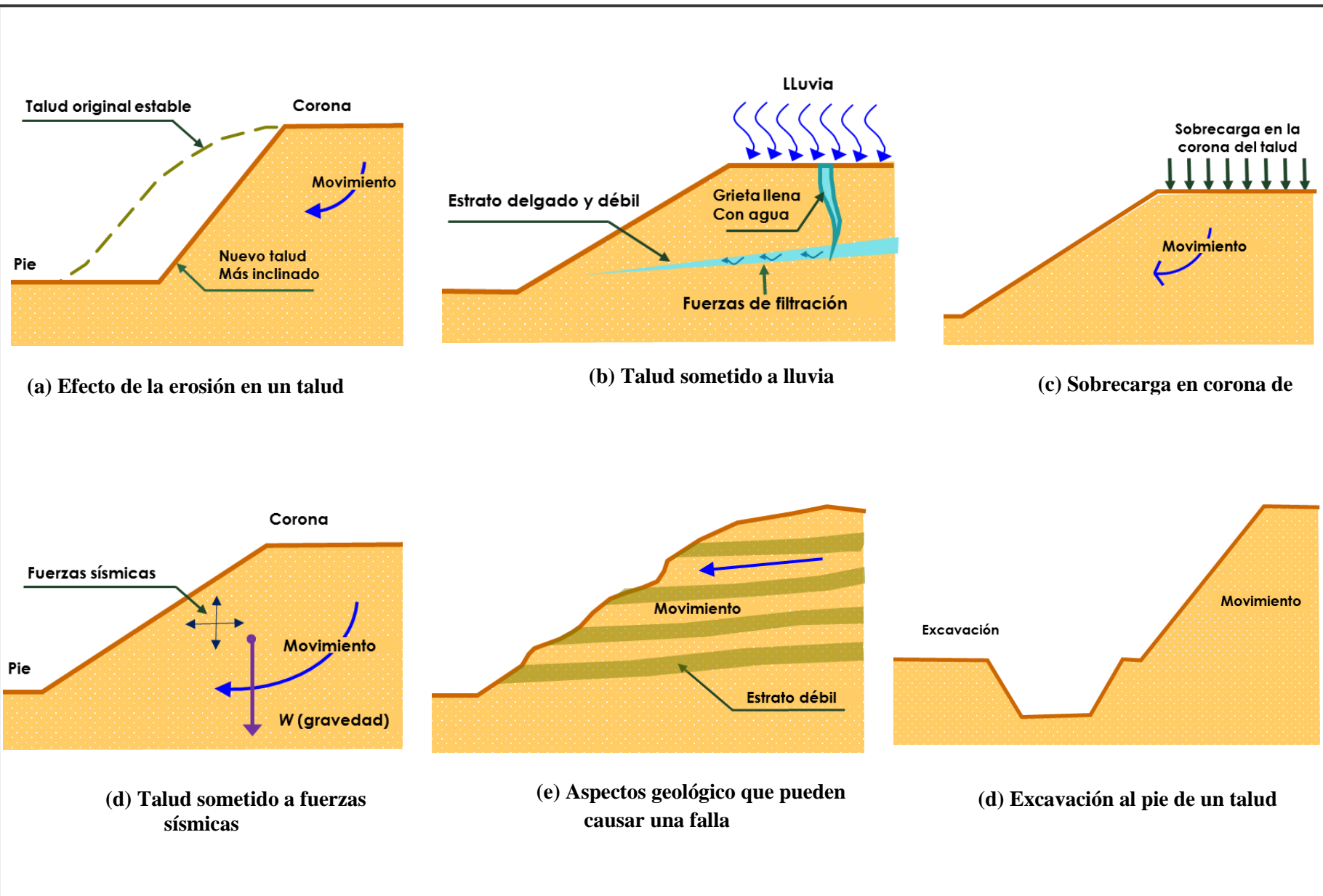


Figura 7: Factores que inciden en la estabilidad de un talud Valladares (2015)

2.2.1.3. Tipos de fallas en un talud

Los taludes en suelos fallan comúnmente como superficies curvas, con diversas formas asociadas a la morfología y la estratigrafía del talud. Cuando la superficie de rotura es casi circular, y pasa justamente por el pie del talud se denomina deslizamiento de pie. Asimismo, cuando la superficie de falla es circular y pasa por debajo del talud se llama deslizamiento profundo. Una falla plana ocurre cuando hay recubrimientos de suelos encima de las rocas, como es el caso de las laderas naturales. Finalmente, una falla poligonal ocurre cuando se trata de estratos blandos (Gonzales et al. 2002). Las fallas típicas en taludes de suelos son presentadas a continuación:

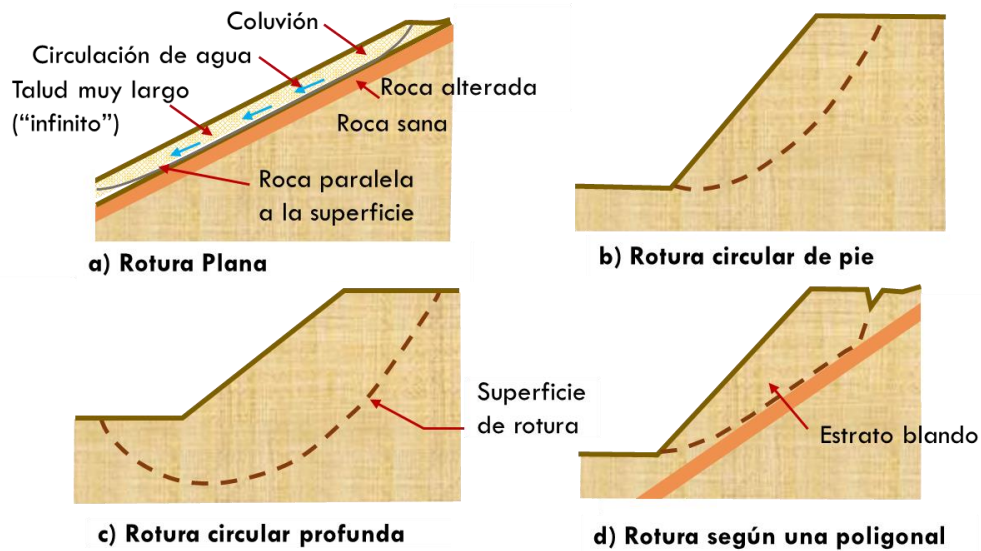


Figura 8: Tipo de falla en taludes de suelo según Gonzales et al. (2002).

Por otra parte, Valladares (2015), considera que las fallas más comunes en taludes son las siguientes:

a) Falla por deslizamiento superficial

Siendo este muy frecuente en laderas naturales, es atribuible a los factores internos del suelo. Se distinguen dos clases de deslizamiento: estacional y masivo, el primero solo afecta la corteza superficial del talud, mientras que el segundo afecta a capas más profundas.

b) Deslizamiento sobre superficies de falla preexistentes

Ocurre frecuentemente en las laderas formadas por depósitos de talud sobre otros materiales firmes estratificados y se producen lentamente, por ello pasan inadvertidos.

c) Falla por rotación

Abarca una masa considerable de suelo y se produce generalmente de forma súbita, este tipo de falla presenta una superficie cilíndrica o conoidal. Se clasifica en falla local y falla de base.

d) Falla por traslación

Asociado a estratos poco resistentes localizados en las cercanías del pie del talud

e) Flujos

No presentan superficie de falla, el movimiento, la velocidad y la distribución de las partículas se asemejan al fluir de un líquido viscoso.

f) Fallas por erosión

Referidas a fallas de tipo superficial provocadas por arrastre de viento, agua, etc. Son más notorios cuando las laderas de los taludes son más empinadas.

g) Fallas por licuación

Se producen por la pérdida casi total de la resistencia al esfuerzo cortante, pueden ocurrir tanto en arena como arcillas ante la acción de un movimiento sísmico.

2.2.1.6. Análisis de estabilidad

Siendo los deslizamientos el tipo de falla más común en masas de suelo, estos pueden ser analizados usando uno o más de los siguientes métodos:

- Método del análisis límite
- Método de elementos finitos.
- Método del equilibrio límite.

El método de análisis límite trabaja con modelos que consideran al suelo como un material completamente plástico. El método de elementos finitos requiere discretizar la superficie del suelo, y lo hace utilizando las propiedades de esfuerzo-deformación del suelo, requiere también un criterio de falla adoptado para alcanzar un estado de esfuerzos de falla.

El método del equilibrio límite, por su facilidad, es el más aplicado para el análisis de estabilidad de taludes, y está basado principalmente en el cálculo del factor de seguridad, el cual es trascendente a la hora de realizar diseños de taludes. (Campos Rodríguez & Guardia Niño de Guzmán, 2005)

Método del Equilibrio límite (MEL)

En el MEL, existen ecuaciones de equilibrio que pueden ser utilizadas, estas son: equilibrio de fuerzas horizontales, equilibrio de fuerzas verticales y equilibrio de momentos. Algunas de las técnicas de dovelas usan una o dos ecuaciones de equilibrio haciendo la solución “no rigurosa”. Sin importar el tipo de procedimiento empleado para resolver el sistema de ecuaciones en los métodos de equilibrio límite, existirán más incógnitas que número de ecuaciones de equilibrio, haciendo la resolución de la estabilidad un problema estáticamente indeterminado. Usualmente, esta desigualdad es resuelta introduciendo arbitrariamente algunas simplificaciones en la ubicación y/o en la inclinación de las fuerzas interdovelas. (Gutierrez Tovar, 2016)

El avance en aplicación de los métodos deterministas para analizar posibles deslizamientos en taludes inició a inicios del siglo veinte. En las próximas décadas, Fellenius (1936) introdujo la técnica ordinaria o sueca de rebanadas. A mediados de los años cincuenta Janbu (1954) y Bishop (1955) desarrollaron los avances de este método. Los avances de las computadoras en los años sesenta hizo viable maniobrar fácilmente los procedimientos iterativos de los métodos que llevaron a formulaciones matemáticamente más rigurosas tales como las desarrolladas por Morgenstern & Price (1965) y por Spencer (1967).

Para facilitar los cálculos se deben de asumir suposiciones para reducir los procesos, sin embargo, la noción de dividir numéricamente un cuerpo notable en pedazos pequeños para propósitos de cálculo era muy novedoso para la época.

Por otra parte los métodos de equilibrio límite poseen cinco hipótesis básicas de carácter restrictivo (Mantilla Lobatón, 2014):

- 1) Se considera que el talud es indefinido en la dirección horizontal paralela a su superficie, por lo que se estudia en condiciones de deformación plana.
- 2) Se supone un mecanismo de rotura a favor de una superficie de desplazamiento (planas o curvas). La masa del suelo contenida por dichas superficies se considera como un bloque rígido o se subdividen en bloques más pequeños dependiendo del procedimiento de cálculo. (Ver Figura 8)
- 3) Se asume un criterio de rotura del terreno a lo largo de las superficies de deslizamiento definidas. Dicho criterio es habitualmente el de Morh-Coulumb.
- 4) Se supone que cada bloque en los que se ha subdivido la masa de suelo se encuentra en equilibrio, bajo este estamento, se resuelven las ecuaciones de equilibrio estático (fuerzas y momentos) del sistema y se determina la resistencia tangencial necesaria a lo largo de la superficie de deslizamiento supuesta para conseguir dicho equilibrio.
- 5) Se define un factor de seguridad que se supone constante a lo largo de toda la superficie de deslizamiento.

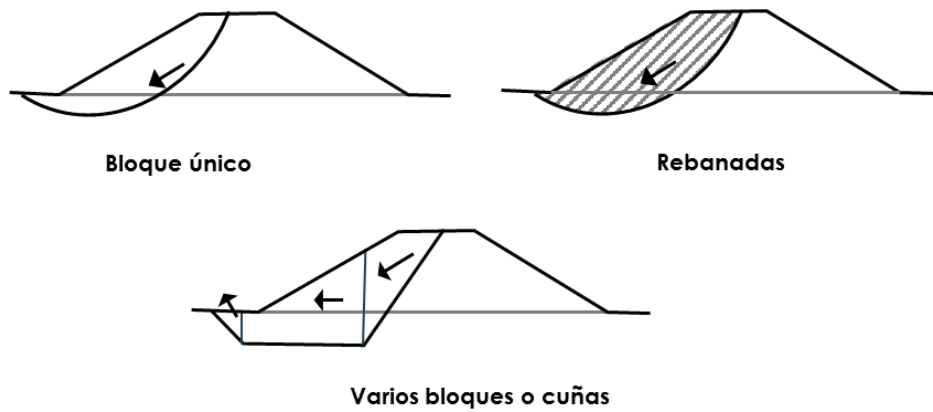


Figura 9: Mecanismos de rotura. Ortuño (2003).

2.2.1.5. Factor de seguridad

Para analizar la estabilidad de un talud se necesita calcular un factor de seguridad, este es definido como:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

F_s = factor de seguridad respecto a la resistencia

τ_f = resistencia cortante promedio del suelo

τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

El factor de seguridad es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad relacionados a todas las superficies de deslizamiento posibles. (Carnero Guzmán, 2011, citado por Cabana 2016)

Cuando el factor de seguridad es igual a 1, el talud está en un estado de falla incipiente. Generalmente un valor de 1.5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable. (Braja, 2001)

A decir Gonzales et al. (2002, p.445) manifiesta que “para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1,5, e incluso 2,0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en

los cálculos; para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1,3, pero en ocasiones pueden adoptarse valores inferiores.”

Métodos para el cálculo del factor de seguridad

Para Altamirano Reyna & Rivas Vera (2015) los métodos para el cálculo del factor de seguridad se clasifican de la siguiente manera:

a) Métodos que no subdividen el macizo o depósito

Es necesario idealizar una geometría simple. La superficie de ruptura posee una directriz con una ecuación bien definida

- El método de la fuerza en cuña plana
- El método sueco sin dovela
- El método del círculo de fricción
- El método de la espiral logarítmica

Hipótesis: macizo o depósito homogéneo. Un único valor de cohesión (c) y de ángulo de fricción interna (Φ).

b) Métodos que subdividen el macizo o depósito

Con superficie de geometría simple y división de dovelas

Hipótesis básica: Existe interacción entre dovelas, posibilidad de superficies de ruptura no circulares. Puede usar diferentes c , Φ

- Método de Fellenius. Método de Bishop y Bishop modificado
- Método de Spencer
- Método de Morgenstern Price
- Método del Talud infinito

Con superficie de geometría simple y división de dovelas

- Método de Janbu
- Método de Sarmac

Con superficie poligonal cualquiera y división en bloques y no en dovelas

- Método de los “Sliding Blocks”

A continuación, se presenta una síntesis de algunos métodos de cálculo de estabilidad de taludes, de los cuales algunos serán empleados como base en la presente investigación. Como ya se ha comentado anteriormente los métodos tradicionales utilizan los principios de equilibrio límite para analizar el equilibrio de fuerzas.

Tabla 3
Métodos de análisis de estabilidad de taludes Suárez (1998)

Método	Superficie de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre los fragmentos y no satisface el equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizante como para los fragmentos individuales. Sin embargo, el método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con elevada presión de poros bajos.
Bishop simplificado (Bishop, 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas cortantes de interfragmento son cero, reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada, ya que no se establecen condiciones de equilibrio para un fragmento.
Janbu Simplificado (Janbu, 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asumen que no hay fuerzas cortantes de interfragmentos. La solución es sobredeterminada y no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbu utiliza un factor de corrección α para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
U.S. Army Corp of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Love y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de los fragmentos. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante interfragmentos tiene una inclinación constante pero desconocida.
Bishop riguroso (1954,1957,1963)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume que existe una distribución única de las fuerzas cortantes interfragmentos y despreciando la posible existencia de un número infinito de distribuciones.
Janbu riguroso (Janbu, 1954,1957, 1963)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume una posición de la línea de empuje. No satisface el equilibrio de momentos. De manera similar al método Bishop riguroso sugiere que la posición de la línea de empuje es una incógnita adicional y de este modo satisface el equilibrio completo.
Morgenstem y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminando. El método es muy similar al método de Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de fuerzas interfragmentos se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las rebanadas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio, sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Elementos finitos	Cualquier forma de superficie de falla	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo, se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos pero no se obtiene el factor de seguridad.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Cabe resaltar que los métodos de equilibrio límite no consideran la compatibilidad de los esfuerzos y desplazamientos que se generan por cargas externas o por su peso propio, asimismo no proporcionan deformaciones que permitan la evaluación más precisa.

2.2.1.7. Consideraciones de análisis

Análisis estático

Los taludes se vuelven inestables cuando las fuerzas cortantes en la superficie de falla potencial exceden la fuerza resistente del suelo. En el caso de taludes donde los esfuerzos en la superficie de falla potencial son altos, el esfuerzo adicional inducido por un sismo, ocasiona la falla del talud. En ese sentido el análisis de estabilidad sísmica de un talud depende del análisis estático. Los métodos más comunes para este análisis con los métodos de equilibrio límite, los métodos de esfuerzo y deformación, usando elementos finitos, son raramente usados, y solo se ejecutan en caso de grandes proyectos.

Análisis pseudoestático

La dispersión de las ondas sísmicas en una masa de suelo no confinada como son los taludes origina aceleraciones, tensiones localizadas y deformaciones de fuerte magnitud. Por lo tanto, la respuesta de un talud puede ser analizada sometiendo el modelo a una historia de aceleraciones de un evento sísmico. Los estudios realizados en el pasado concluyen que el comportamiento de un talud ante un sismo depende de sus características dinámicas. (Troncoso, 1992).

La posibilidad de la ocurrencia de un deslizamiento cuando el talud está sujeto a cargas dinámicas de sismo, depende de diferentes factores incluida la geometría, la geología y las propiedades del suelo, presencia de agua, clima, etc.

Los taludes fallan durante un sismo de gran magnitud debido a que se incrementan los esfuerzos y se reduce la resistencia. Este efecto puede generar una falla progresiva o instantánea del talud. El factor de seguridad depende de un valor de coeficiente sísmico K_h .

A mitad de los años 60, cuando el análisis pseudoestático era raramente usado, uno de los más grandes problemas, era la elección de un coeficiente sísmico para ser utilizado en el diseño. Por ello la selección de este factor fue muchas veces empírico y comúnmente en los estados unidos, este coeficiente variaba entre 0.10 a 0.15. En Japón, se especificaba valores entre 0.15 y 0.25. Ambrase (1960), fue el primero en hacer una sugerencia específica racional en relación a la elección del coeficiente sísmico, él recomendó utilizar un porcentaje de la máxima aceleración sísmica, en este caso 20%. A continuación, se muestran los coeficientes sísmicos adoptados por Japón y Estados Unidos, correspondientes a un porcentaje de la máxima aceleración sísmica.

Tabla 4

Valores de K recomendados para el análisis pseudoestático Suárez (1998)

Coeficiente sísmico K	Observaciones
0.1	Sismo importante, FS > 1.0
0.15	Sismo de gran magnitud
0.15 a 0.25	FS > 1.0
0.05 a 0.15	Japón FS > 1.0
0.10 para $\mu=6.5$ 0.10 para $\mu=8.5$	(Seed, 1979) con FS>1.15
1/3 a 1/2 de la máxima aceleración PGA	(Marcuson y Franklin, 1983) FS > 1.0
1/2 de la máxima aceleración PGA	(Hynes, Griffin y Franklin, 1984). FS > 1.0 y un 20 % de reducción de resistencia.

2.2.1.8. Factores de seguridad mínimos

Un factor de seguridad de diseño contra la falla de un talud depende de la magnitud de las pérdidas económicas y de vidas que dicha falla pueda producir, asimismo “Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podría causar su falla, etc.” (Gonzales et al. 2002, p.445).

Tabla 5

Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseño de taludes. Suárez (1998)

Caso	Factor de seguridad
Si se puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud	1.7
Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de a obra específica o pérdidas consideradas importantes	1.5
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes.	1.3
Si la falla del talud no causa daños	1.2

En el manual Slope Stability del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (2003) se indican los factores de seguridad recomendados para taludes nuevos, dichos factores de seguridad son válidos para condiciones de aguas resultantes de una lluvia con período de retorno de 10 años. Hay tres categorías de riesgo en cada caso, despreciable, bajo y alto. La categoría “riesgo para vida” refleja la probabilidad de pérdidas de vida en el evento de falla.

Tabla 6

Factores de seguridad recomendados para taludes nuevos, considerando una lluvia con período de retorno de diez años. Geotechnical Manual for slope (1984)

Riesgo de vida		Factores de seguridad recomendados contra pérdidas de vidas para una lluvia de retorno diez años.		
Riesgo económico		Despreciable	Bajo	Alto
Factor de seguridad recomendado contra pérdidas económicas para una lluvia con periodo de retorno de diez años	Despreciable	>1	1.2	1.4 ⁽¹⁾
	Bajo	1.2	1.2	1.4 ⁽¹⁾
	Alto	1.4	1.4	1.4 ⁽¹⁾

Nota

- (1) Adicionalmente al factor de seguridad de 1,4 para lluvia con período de retorno de diez años, un talud en la categoría alta “riesgo para vida” debe tener un factor de seguridad de 1,1 con las condiciones más críticas posibles del agua subterránea.
- (2) Los factores de seguridad dados en esta tabla son valores recomendados. Sin embargo, pueden adoptar valores mayores o menores, particularmente en relación con las pérdidas económicas probables.

Además de lo ya expuesto, existen varias normativas nacionales e internacionales ampliamente aceptadas en Perú, en las que se regula el coeficiente de seguridad a emplear. La elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica). (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego, 2015). En la siguiente tabla puede consultarse una recopilación de los factores según las diferentes normativas.

Tabla 7

Factores de seguridad en el cálculo de estabilidad de taludes. (Valiente et al. 2015)

Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO LRFD	1.33-1.53	1.1	1.33-1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3-1.25	1.3-1.25	1.5	1.2-1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1	-	1.1
CE.020	-	-	1.5	1.25

2.2.1.9. Resistencia al corte

La resistencia al esfuerzo cortante entre dos partículas es la fuerza que debe aplicarse para producir un deslizamiento relativo entre las mismas, se debe principalmente a los enlaces de adhesión en los puntos de contacto y viene determinada principalmente por la magnitud de carga normal aplicada, de forma que el comportamiento general es de naturaleza friccional (Lambe & Whitman, 1995)

Criterio de falla de Mohr Coulomb

Uno de los criterios de falla en suelos más difundidos, deriva del propuesto por Coulomb, este relaciona los esfuerzos efectivos normales y los esfuerzos tangenciales actuando en cualquier plano del suelo (Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

La resistencia al corte viene dada por la siguiente expresión:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u)\tan\phi'$$

Donde:

τ = resistencia al corte de suelo para un determinado plano

σ_n = esfuerzo normal total

u = presión intersticial

c' = cohesión efectiva

ϕ' = ángulo de rozamiento interno efectivo

La anterior ecuación es conocida como la envolvente de rotura de un suelo, esta línea proporciona un esfuerzo tangencial máximo para cada esfuerzo efectivo normal, como se presenta en la siguiente figura:

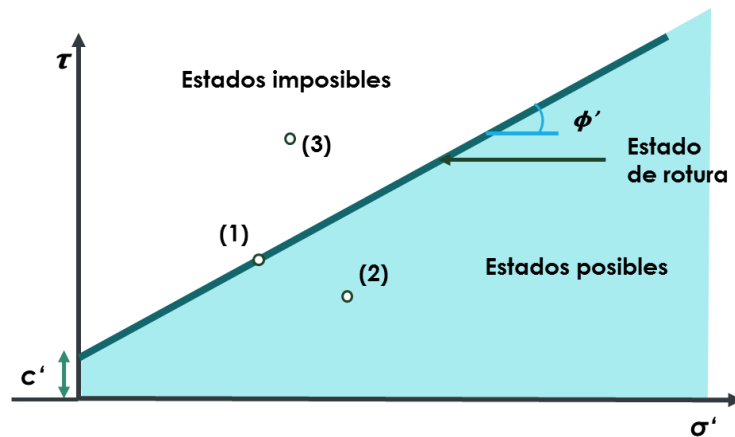


Figura 10: Criterio de rotura en suelos

En la Figura 10, el punto (1) está situado en la línea de falla, por lo que representa un estado inminente de rotura, el punto (2), cuenta con un factor de seguridad ya que aún no se alcanza el esfuerzo tangencial máximo. Por otro lado, el punto (3) representa un estado imposible, ya que se sobrepasa la combinación máxima de esfuerzos, siendo no compatible con la resistencia del suelo.

Ensayo de corte directo

Consiste en una caja de acero, generalmente de sección cuadrada, que se encuentra dividida en dos mitades, en cuyo interior se coloca la muestra de suelo, se aplica luego a la muestra una fuerza normal N mediante una placa de carga, La inducción de tensiones cortantes en el suelo se mediante la aplicación de una fuerza en el plano horizontal, mientras que se impide totalmente el movimiento en la zona superior. El desplazamiento vertical de la muestra se mide mediante un deformímetro que se coloca sobre la placa superior (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

El ensayo de corte directo no permite tener un adecuado control en el drenaje de la muestra, sin embargo, esto no es una limitante para el caso de suelos granulares (grava y arena), ya que estos presentan drenaje libre y por lo general fallan en condiciones completamente drenadas. Para poder medir la resistencia de los suelos arcillosos, se requiere consolidar la muestra bajo una carga normal y luego aplicar los esfuerzos de corte a una velocidad suficientemente lenta para asegurar la disipación inmediata del exceso de presión intersticial que se produce durante el ensayo. (García Prado, 2005)

2.2.1.10. Programa Slide V.6.0 (versión estudiantil)

Este programa calcula los factores de seguridad para diversas geometrías, hechas por el propio usuario o importadas desde algún programa de dibujo. Se pueden analizar tanto suelos como rocas, por ello, se incluye los criterios de rotura: Mohr-Coulomb; Hoek y Brown; Hoek y Brown generalizad; Barton y Brandis. Además, se añaden las opciones de anisotropía y variaciones en condiciones de sobrecarga, estructuras de contención, suelo reforzado y geotextiles. Además, es posible seleccionar entre varios métodos de análisis, tales como: Fellenius, Bishop simplificado, Janbu generalizado y corregido, Spencer, Morgentern-Price, etc. Mendoza (2016)

2.3. Definición de términos básicos

Cohesión: Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y la presencia de agua.

Deslizamiento: Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia fuera de toda la masa que participa del mismo.

Equilibrio Límite: Método de cálculo análisis de estabilidad de taludes que requiere información sobre los parámetros de resistencia del suelo, basado fundamentalmente en la determinación del factor de seguridad.

Estabilidad: Es la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento.

Factor de seguridad: Es la relación de la resistencia movilizada o resistencia actuante de una estructura para resistir cargas.

Fricción: Es la resistencia al deslizamiento causado por el rozamiento que existe entre las superficies de contacto de las partículas.

Grado de saturación: Proporción de vacíos del suelo ocupada por agua. Se expresa en porcentaje.

Geología: Ciencia que estudia el origen, formación y evolución de la tierra, los materiales que la componen y su estructura.

Suelo colapsable: Suelos que cambian violentamente de volumen por la acción del agua o un incremento de carga.

Talud: Cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo que forma un ángulo con la horizontal

Capítulo III

Materiales y métodos

3.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo, ya que según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.6) “...con los estudios se pretende confirmar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos...”. En esa dirección, el presente trabajo busca explicar el efecto de una variable sobre otra.

Se empleó el enfoque cuantitativo, ya que partiendo de las variables “Suelos Colapsables” y “Estabilidad de taludes”, buscaremos sus dimensiones hasta llegar a los “indicadores” de estas, las que serán motivo de medición en el estudio y búsqueda de efecto que se produce entre ellos, mediante técnicas e instrumentos, y posteriormente mediante la contratación de hipótesis.

El enfoque de la investigación es cuantitativo. Hernández, et al (2014,) señala que el enfoque cuantitativo está compuesto por procesos, es decir, es secuencial y demostrativo. Cada fase precede a la próxima y no podemos “brincar o eludir” pasos, la disposición es riguroso, sin

embargo, es posible redefinir alguna fase. El punto de partida consiste en una idea, que se va delimitando, y a través de esta surgen los objetivos y las preguntas de investigación, es necesaria revisar bibliografías y desarrollar un marco teórico. De las preguntas se determina la hipótesis y las variables; además es necesario crear un procedimiento de diseño para comprobarla; medir las variables y analizar los resultados obtenidos. Finalmente se establecen las conclusiones en bases a los objetivos e hipótesis.

Se empleó el enfoque cuantitativo porque se recolectó datos para medir la incidencia de los suelos colapsables en la estabilidad de taludes y obtener soluciones de reforzamiento. La recolección de estos datos se llevó a cabo mediante los procedimientos especificados en las normativas vigentes.

3.2. Tipo de investigación

La investigación es aplicativa, dado que se planteó resolver la incertidumbre que existe acerca del efecto de los suelos colapsables en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura, además se presenta recomendaciones del tipo de refuerzo más conveniente para lograr la estabilidad del mismo.

Sánchez, y Reyes (2006, p.37), manifiestan:

La investigación Aplicada llamada también constructiva o utilitaria, se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se deriven. La investigación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de un conocimiento de valor.

3.3. Diseño de la Investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2014), afirman que el diseño constituiría el plan o estrategia para la certeza de la hipótesis formulada en un contexto en particular de la investigación. Para la presente investigación el diseño de investigación es experimental, ya que se realizó la manipulación directa y deliberada de la variable independiente para medir los efectos que se producen en la variable dependiente.

Además, se clasifica en un diseño experimental propiamente dicho (puro) con posprueba únicamente y grupo de control. En este tipo de diseño se incluye a dos grupos, en el cual solo uno recibe el estímulo, y el otro no (grupo de control) (Hernández et al. 2014).

La variable independiente alcanza más de dos grados ya se varió el grado de saturación, lo cual producirá diferentes efectos en la variable dependiente. A continuación, se presenta un diagrama representativo:

G_1	x_1	0_1
G_2	x_2	0_2
G_3	x_3	0_3
G_4	x_4	0_4
G_5	x_5	0_5

G : Caso de análisis

G_1 : Caso de análisis 1 (grupo de control)

x_1 : Suelo colapsable en estado natural.

x_2 : Suelo colapsable al 25 % del grado de saturación

x_3 : Suelo colapsable al 50 % del grado de saturación

x_4 : Suelo colapsable al 75 % del grado de saturación

x_5 : Suelo colapsable al 100 % del grado de saturación

0 : Medición de efectos en la variable independiente en G (Factor de seguridad)

3.4. Método de investigación

El método de investigación es la manera en que se busca la solución a un problema determinado. El método principal durante el proceso de investigación fue del tipo explicativo porque este tipo de estudio tiene como propósito determinar las causas de fenómenos y generar un sentido de entendimiento entre dos variables (en un contexto en particular). Según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.95), “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o de establecimiento de relaciones entre conceptos, es decir están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales”.

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente el proceso de investigación seguido en la presente tesis:

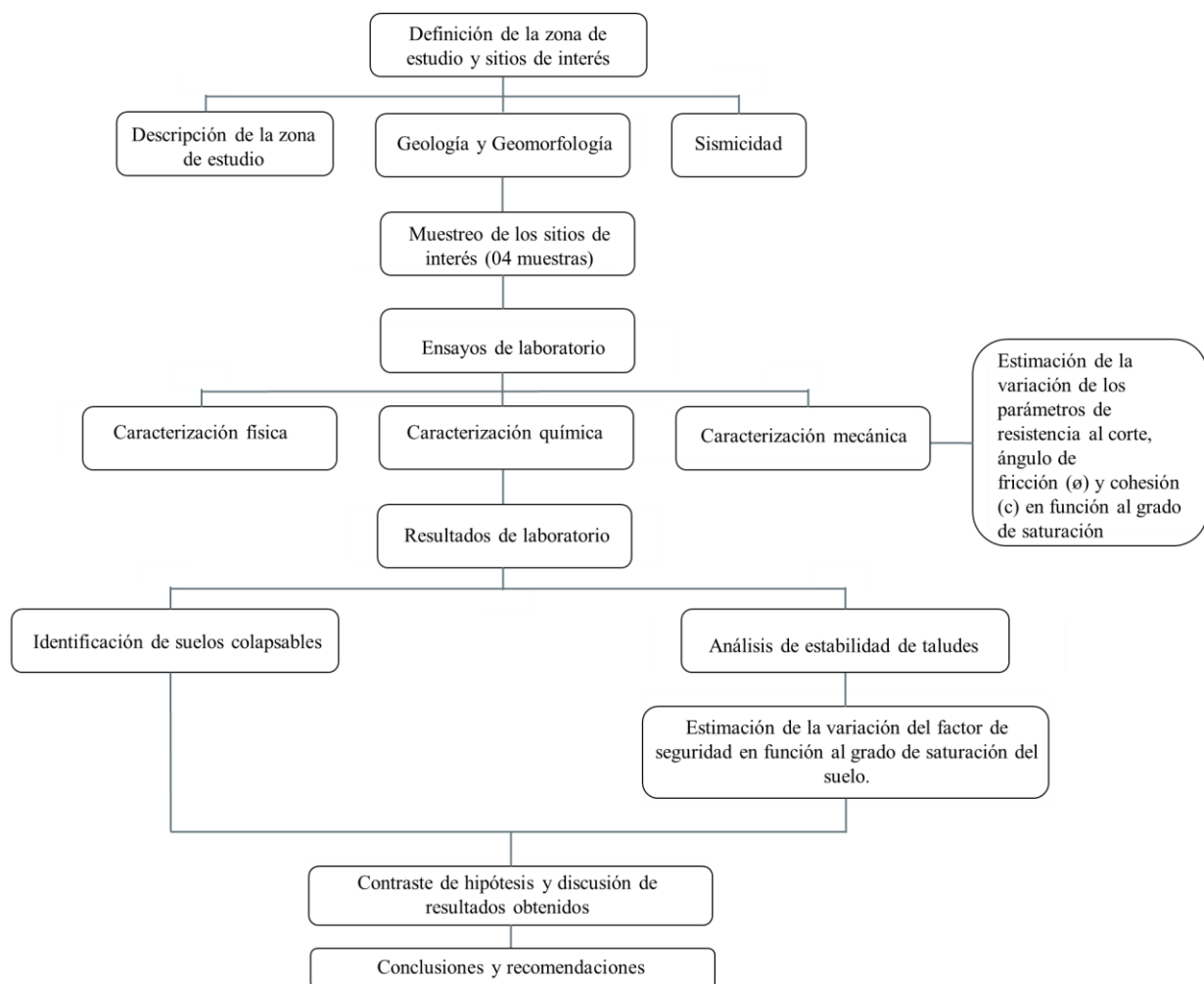


Figura 11: Esquema seguido para la ejecución de tesis

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

HG: El grado de saturación de los suelos colapsables incide significativamente en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.

3.5.2. Hipótesis específicas

HE1: Los suelos que conforman los taludes del puerto de Paita-Piura son suelos colapsables que presentan bajas densidades y bajos contenidos de humedad, además disminuyen sus propiedades mecánicas cuando se acercan al grado de saturación.

HE2: El factor de seguridad, para la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura, sobrepasa lo especificado en la normativa es decir es mayor a 1.5 cuando se realiza el análisis estático, y mayor a 1.25 para el caso pseudoestático.

HE3 La alternativa de reforzamiento para lograr la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019, son el sistema terramesh y el uso de geosintéticos.

3.6. Variables

Variable independiente: suelos colapsables, variable dependiente: estabilidad de taludes.

3.6.1. Definición Conceptual

Suelos Colapsables. Suelos que cambian violentamente de volumen al ser sometidos a un incremento de carga o al humedecerse o saturarse (E.050 Suelos y cimentaciones).

Estabilidad de Taludes. Análisis que permite diseñar taludes, mediante el cálculo de un factor de seguridad y definir el tipo de medidas correctivas que deben ser aplicadas en caso de fallas reales o potenciales (Gonzales et al.2002)

3.7. Operacionalización de variables

Tabla 8

Operacionalización de variables

Variable de investigación	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión	Indicadores		
Suelos Colapsables	Son aquellos suelos que cambian violentamente de volumen al ser sometidos a un incremento de carga, al humedecerse o saturarse. (E.050 Suelos y Cimentaciones)	Características físicas	Análisis Granulométrico por tamizado	Parámetros ASTM D-422		
			Límites Atteberg	Parámetros ASTM D-4318		
			Contenido de Humedad	Parámetros ASTM D-2216		
			Peso volumétrico	Parámetros NPT 339.139:1999		
		Características mecánicas	Gravedad específica	Parámetros ASTM D854-58		
			Cohesión Fricción	Parámetros ASTM D3080		
				Características químicas	Contenido de Sales	Parámetros NTP 339.152
		Contenido de Sulfatos	Parámetros ASTM D-1559			
		Estabilidad de Taludes	Análisis que permite diseñar taludes, mediante el cálculo de un factor de seguridad y definir el tipo de medidas correctivas que deben ser aplicadas en caso de fallas reales o potenciales. (Gonzales et al.2002)	Factor de seguridad	Fuerzas y Momentos resistentes	Análisis estático > 1.5
					Fuerzas y Momentos mobilizadores	Análisis pseudoestático > 1.25
Geometría	Altura de talud			metros (m)		
	ánguo de talud			Grados (°)		
Coeficiente sísmico	Máxima aceleración sísmica PGA			unidades g		

3.8. Población y Muestra

3.8.1. Población

La población o “universo, está compuesto por la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de la población poseen características comunes y observables y dan origen a los datos de la investigación.

De lo anterior para el presente estudio la población de interés está conformado por los Suelos colapsables que conforman el talud de la planta de almacenamiento Penta Tank, Paita-Piura en el año 2019.

3.8.2. Muestra

La muestra es una representación significativa, de las características de una población, estas deben ser fiel reflejo del universo de tal forma que reproduzca sus características básicas en orden a la investigación.

Para la presente investigación se ha considerado el muestreo del método no probabilístico por conveniencia. Gomero y Moreno (1997, p. 198) señala que “la muestra no probabilística no sigue un proceso aleatorio y su forma intencionada se utiliza cuando se requiere tener casos que puedan ser representativos de la población”. El muestreo en nuestra investigación fue por conveniencia, ya que “estas muestras están conformadas por los casos disponibles a los cuales tenemos acceso” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 390).

El muestreo es de tipo no probabilístico (no aleatorio), debido a que no se puede realizar en cada pequeño espacio del área de estudio, si no las muestras se toman de acuerdo con lo especificado en la normativa E.050 Suelos y cimentaciones asimismo teniendo en cuenta las unidades geológicas existentes, y el posible el acceso.

3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La técnica de fuente secundaria: investigación bibliográfica; consistió en la revisión de tesis, libros, monografías y artículos científicos, además se contó con algunas investigaciones realizadas anteriormente, toda la información recopilada se presenta a continuación:

3.9.1. Caracterización de la zona de estudio

3.9.1.1. Ubicación

El talud se encuentra ubicado frente a las costas de la Planta de almacenamiento de líquidos Penta Tanks en Paita-Departamento de Piura. El centro de la planta se ubica en las coordenadas. 9'440,870.130 N y 492,688.680 E, referidas al sistema WGS 84 Zona 17. En la siguiente figura se muestra la ubicación política del distrito de Paita, así como la ubicación de la exploración de campo realizada.

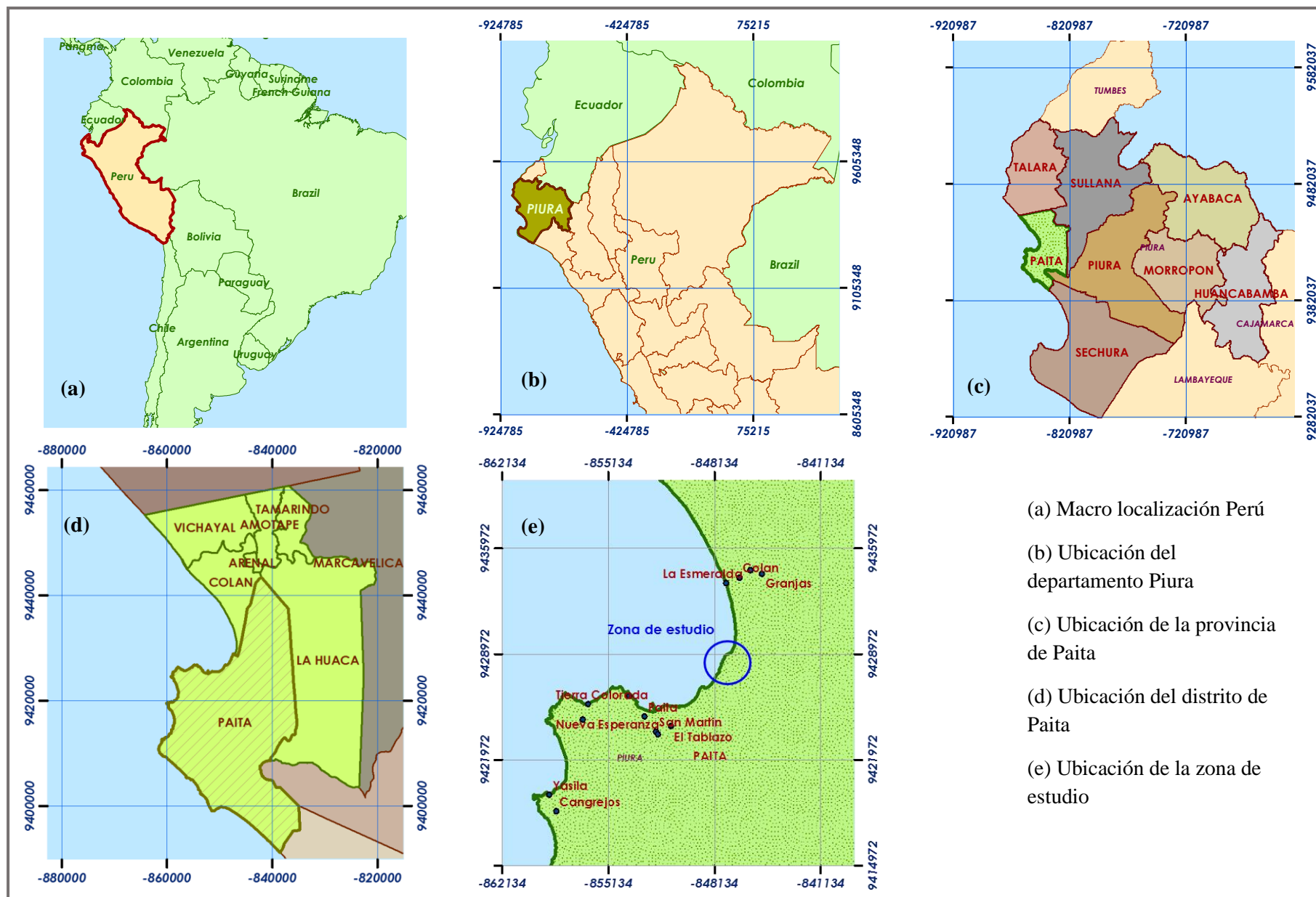


Figura 12: Ubicación de la zona de estudio

Ubicada a 4 km del puerto de Paita, el talud en estudio se encuentra frente a las costas de la planta de almacenamiento de líquidos Penta Tanks, en este sector se efectuó las exploraciones de campo.



Figura 13: Ubicación de talud a analizar

3.9.1.2. Descripción de la zona de estudio.

a) Topografía

El rango de altitud varía entre los 25 a 350 m aproximadamente. La provincia de Paita, en general tiene un relieve algo accidentado y determinado tanto por sus tablazos como por la geografía que presenta en su litoral. Si hablamos del relieve podemos afirmar que predominan los tablazos con zonas planas. También encontramos los valles del Bajo Piura, formados por el Río Chira.

En la Zona litoral se muestra una topografía con zonas inclinadas que van desde los 25° a 60° (en la zona del Proyecto) estableciéndose plataformas desde los 70 m.s.n.m.m. que forman parte de las llanuras y depresiones costeras.

b) Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos en la zona de estudio han sido desarrollados a través de la evolución tectónica, habiendo incidido también los agentes de erosión, como son la actual mecánica de las olas en el modelado del borde litoral y la acción eólica en los pampas tablazos. A continuación, se describen las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son:

- Cordillera de la costa
- Plataforma costanera
- Borde litoral
- Plataforma litoral
- Talud continental

La zona de estudio se caracteriza principalmente por ser una plataforma costanera. Es sobre esta unidad donde se han esculpido los acantilados, con una estructura geológica de naturaleza sedimentaria —Cretácico-Terciaria—, la misma que descansa en partes adosadas a rocas del Basamento Paleozoico. Su evolución geomorfológica obedece a la estructura tectónica del subsuelo, con levantamientos verticales que siguen un lineamiento y que han dado lugar a terrazas marinas escalonadas, conocidas como tablazos. También es necesario mencionar que el talud continental es una zona de pendiente brusca, a tener entre 200 m y 500 m de profundidad frente a las costas de Paita. En el extremo norte del área de estudio se encuentra el río Chira, que presenta un estuario ribereño, con llanuras arenosas, bancos

de arena parcialmente vegetados y más al sur, encontramos playas de arena, con llanuras desérticas que alcanzan acantilados interiores.

La cordillera de costa formada por una vertiente montañosa moderadamente disectada tiene zonas muy inclinadas que van desde los 50 a 300 más de altitud.

c) Clima

El clima en las zonas costeras es generalmente cálido en verano y templado, con mucha humedad y escasas precipitaciones, en invierno, características que son determinadas por la presencia de la fría Corriente de Humboldt a lo largo del litoral peruano, definiendo las lluvias poco frecuentes, la alta humedad y temperaturas moderadas.

d) Temperatura

Con respecto a los valores de temperatura, se encontró que, las temperaturas medias anuales en el área varían entre 22.0 °C y 26.53 °C, arrojando un promedio anual de 23.85 °C. Así mismo, el comportamiento de la temperatura muestra como máximo valor medio mensual 27.67 °C y un mínimo de 21.54 °C, alcanzando las más altas temperaturas entre los meses de enero y abril.

e) Hidrología

La distribución del recurso agua procedente de la lluvia que discurre en una época normal del año (sin la presencia del niño), no aporta a ningún curso de agua principal sea río o quebrada importante, esto se debe a que la poca cantidad de agua que discurre se infiltra con facilidad, esto por las características que tiene el suelo en estas zonas generalmente franco arenoso, a esto se le suma la evaporación por las altas temperaturas que predominan.

Mientras que con la presencia del Fenómeno del Niño pueden ocurrir cambios, dependiendo de la intensidad con la que se presente; cuando la intensidad es alta, el agua que discurre por la red hidrográfica, que cuenta con quebradas secas en su mayor

parte, al llegar a estas planicies sumadas al agua que recibe directamente de la lluvia satura el suelo, con ello la cantidad de agua que recibe la superficie de suelo es mayor que la infiltración, esto genera que se formen lagunas temporales en algunos sectores sobre aquellos lugares en donde la topografía es plana a hondonada, modificando en comportamiento de su entorno mientras el cuerpo agua desaparece

f) Precipitación.

Respecto al factor precipitación, se observa que las precipitaciones medias anuales son del orden de 28.29 mm, con variaciones dentro del rango de 0.3 mm a 323.3 mm.

También se observa con más detalle que entre los meses de enero a abril se presentan precipitaciones, mientras que en el resto del año prácticamente las precipitaciones son nulas.

g) Humedad relativa

La humedad relativa representa el porcentaje de vapor efectivamente presente en el aire en comparación con la saturación en las condiciones de temperatura y presión existentes. Tiene mucha relación con la temperatura.

La humedad relativa al igual que la temperatura condiciona la vida de los organismos en una determinada área. Por ejemplo, las distintas especies prosperan en condiciones físicas distintas. Algunos prosperan en ambientes calientes otros en ambientes frescos y fríos. Otros persisten mejor en ambientes húmedos, que en ambientes secos.

h) Vientos

Los vientos predominantes que siguen una dirección al sur, y suroeste tienen una velocidad de 6m/seg hasta los 8m/seg. El grafico siguiente de fuente IMARPE muestra lo indicado

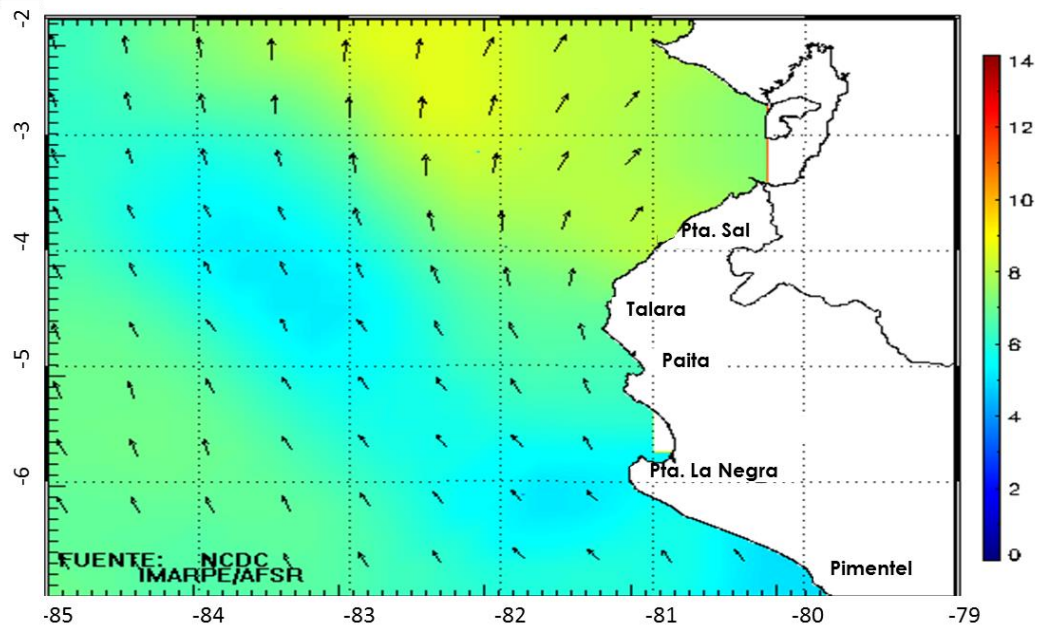


Figura 14: Dirección y velocidad de los vientos (m/s)-Paita (IMARPE/AFSR 2017)

3.9.1.3. Geología Geodinámica

A continuación, se determinaron las condiciones geológicas y geodinámicas en la estabilidad de los taludes del acantilado.

a) Geología Regional

El área de proyecto se encuentra localizada geográficamente en la cordillera de la costa del norte del Perú, con coordenadas geográficas en un punto central 5°03'29" latitud sur, y 81°04'02" longitud oeste; a una cota promedio de 70 msnm. La morfología regional se conoce por tener una superficie fuertemente disectada, con valles fluviales de flancos suaves, cerro y cimas en forma de domos y extensas terrazas levantadas.

La estratigrafía está representada en la formación del tercer ciclo de sedimentación de Eoceno medio, empieza con el Grupo Talara, que aflora a lo largo de la franja costera y que se extiende hasta la cercanía de los Amotapes, siendo uno de los más notables por su producción de hidrocarbonifera, Este Grupo consiste fundamentalmente de tres componentes: el inferior lutaceo, el medio areniscoso y el superior lutaceo. En la parte norte de la cuenca Talara, por los cambios de facies que lo caracteriza, solo se puede reconocer dos componentes: el primero conglomeradicos-areniscoso y el superior lutaceo.

En el Eoceno superior se formó el cuarto ciclo, abarcando a la Formación Verdun cuya cadena es mayormente areniscosa, seguido por la Formación Chira fundamentalmente lutacea, cerrando así la secuencia Eocénica.

Entre el Eoceno medio y superior se ocasionaron movimientos verticales que formaron oscilaciones en las cuencas y transgresiones en el mar hacia la cuenca Sechura.

En el Oligoceno una nueva transgresión dió lugar a la formación Mancora con niveles conglomeradicos y areniscas gruesas a finas, descansando de esta manera encima la Formación Heath formada por lutitas con niveles intercalaciones de areniscas.

Entre el Oligoceno y el Mioceno se produjo nuevamente la cuenca Talara quedando manifestada durante el Mio-Plioceno, como efecto de la Tectónica Andina que originó fallamientos de alto ángulo.

El Mioceno se produjo en la cuenca Progreso, estando constituida por las formaciones Zorritos, Cardalitos y Tumbes de naturaleza areniscosa fina combinada con lutaceos, bentoníticas, carbonosos y la existencia de niveles tobaceos.

A fines del Mioceno se originaron nuevamente procesos de levantamiento tectónico.

La geología estructural está dominada por bloques antiguos (horst) que han manejado la sedimentación durante el Cretáceo y el Terciario, ocasionando que esta región sea una de las más críticas y complejas con la particularidad de una formación cortical al estar dentro del radio de concerniente a la deflexión de Huancabamba. La Tectónica Andina se presenta en esta región con fallamientos normales e inversos de gran ángulo, estos han generado bloques levantados y hundidos que han servido de soporte de estructuras.

b) Geología Local

La ubicación del talud proyectado, se encuentran en la repisa costanera de la terraza marina conocidos como tablazos y el borde litoral, separados por el acantilado producto de la dinámica de erosión marina.

▪ Estratigrafía

Cubriendo la zona de estudio, se puede observar la presencia de afloramientos litológicos que contiene niveles de arenas y limo arenoso de grano fino ligeramente diagenizada, infrayaciendo a la secuencia descrita se presenta niveles de limolitas y lutitas en capas delgadas de color marrón rojizas, estos cambios de facie podrían deberse a fluctuaciones en las condiciones de sedimentación en la fauna desde facies neríticas hasta epineríticas, ambas de un ambiente geológico de transgresión marina, perteneciente a la Formación Chira-Verdun (Te-chv).

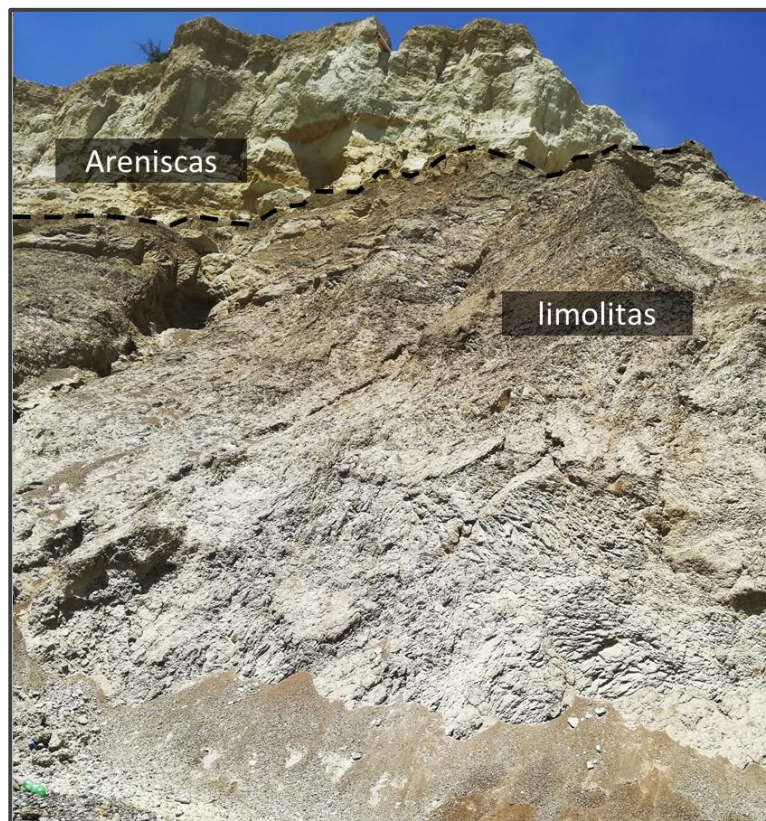


Figura 15: Vista Litológica del talud.

c) Geología Estructural

Los rasgos estructurales corresponden a la proyección de fallas predominante Noreste – Suroeste, paralelas al río Piura, caracterizados por pliegues amplios, siendo el sector de extensas llanuras del tablazo de ambiente marino que demuestra considerables movimientos radiales durante el pleistoceno, relacionados al levantamiento en la línea del litoral, donde los fallamientos y fracturamientos que se observa en los acantilados cerca de la zona de estudio, obedece a un sistema de rumbo Noreste, producto del pilar tectónico de Paita.

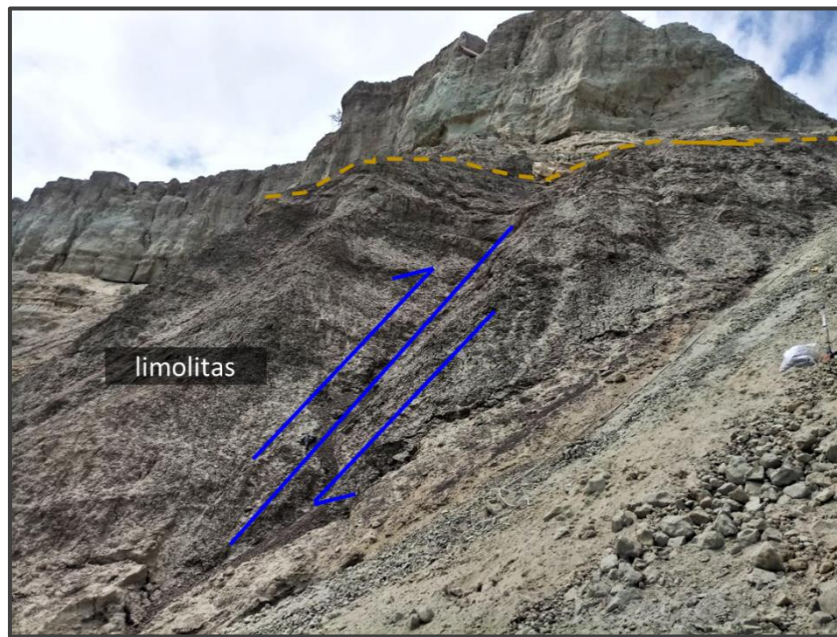


Figura 16: Vista de falla Normal, ubicada a 350m al Suroeste del área de estudio

d) Geomorfología Local

La morfología del área de interés se encuentra afectada fuertemente por la actividad dinámica de los agentes erosivos, ocasionando un relieve de suaves pendientes, poco pronunciadas a onduladas y acción mecánica de las olas en el modelado del acantilado del borde del litoral con la acción eólica en los tablazos.

- **Unidad Terraza**

Esta morfología se caracteriza por presentar zonas positivas comprendidas desde el borde del acantilado, en toda su extensión de la terraza marinas escalonadas, las mismas que constituyen elementos geomorfológicos importantes dentro de la repisa costanera.

- **Unidad Borde Litoral**

Esta morfología se distingue a lo largo del sector comprendido desde la línea de alta marea y baja marea, hasta el borde del acantilado, siendo una franja cubierta de arena y bloques caídos.



Figura 17: Vista del Borde Litoral angosto del área de estudio

3.9.1.4. Sismicidad

El área en estudio se encuentra en el Paita - Piura, Zona 4, $Z=0.45$ de la Zonificación Sísmica del Perú. Los ensayos geofísicos MASW realizados por TCINGE (2018), indican valores de velocidades de ondas de corte V_{s30} 266 m/s a 348 m/s. De acuerdo a las Normas de Diseño Sismo Resistente NTE E.030, los parámetros geotécnicos corresponden a suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 180 m/s y 500 m/s Tipo S2, periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo $T_p(s) = 0.60$ seg. y factor de suelo $S = 1.05$.

Tabla 9

Clasificación de los perfiles de suelo E.030 Diseño sismoresistente (2016)

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	>50	> 100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	<15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

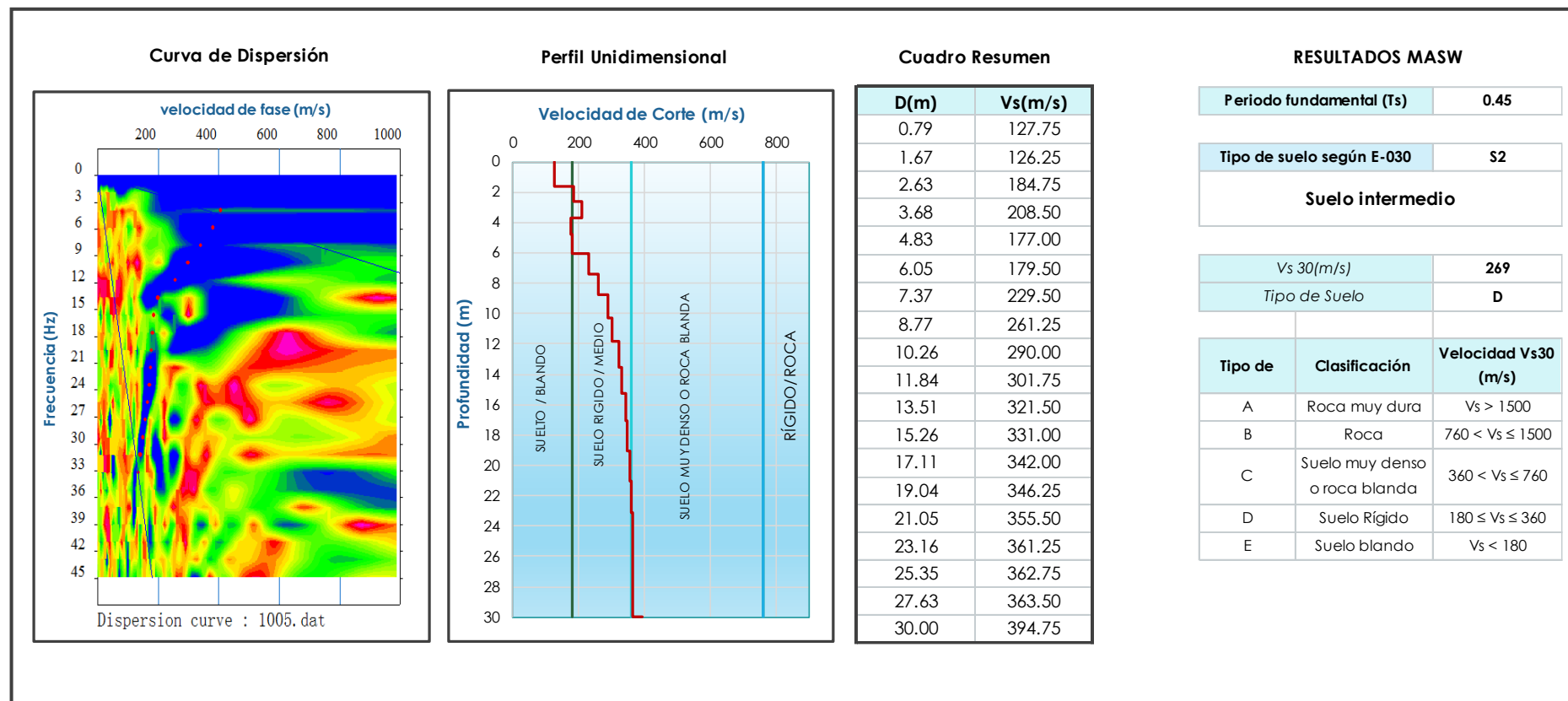


Figura 18: Análisis multicanal de ondas superficiales MASW08 (TCINGE 2018)

En la zona de estudio, se han realizado 12 ensayos MASW, cuyos resultados arrojan un tipo de suelo intermedio S2 como se muestran a continuación:

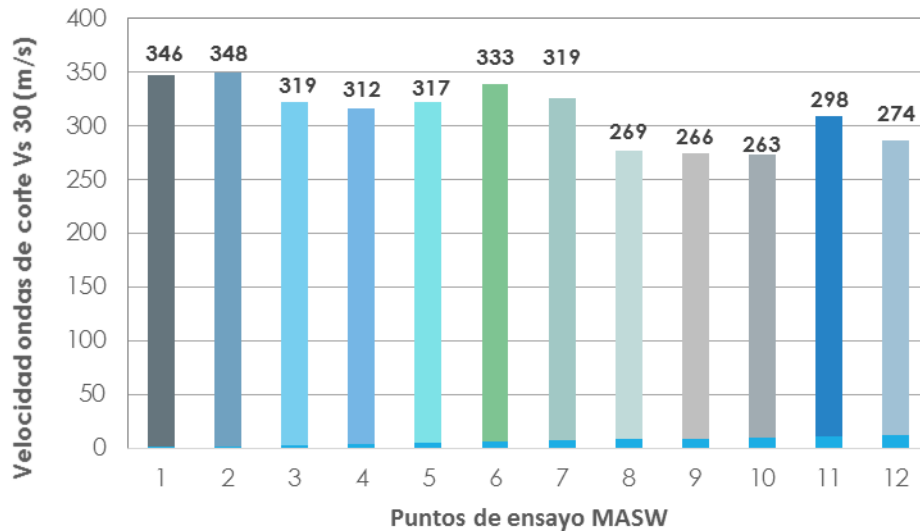


Figura 19: Variación de las velocidades de ondas de corte $V_s 30$ en el terreno.

a) Peligro sísmico probabilístico

La concepción básica del método consiste en la determinación y caracterización de las fuentes sismogénicas que definen la sismicidad de la región en estudio; para esto es necesario revisar la actividad sísmica del pasado y analizar las características tectónicas de la región. Seguidamente se determinan los parámetros de sismicidad local de cada una de las fuentes o zonas sismogénicas y con la ayuda de leyes de atenuación sísmica definidas para cada tipo de fuentes, se determinan los valores probables de intensidades sísmicas que pueden esperarse en un determinado lugar.

Se conoce que el movimiento sísmico del terreno en un lugar determinado está directamente influenciado por factores como el mecanismo de la fuente, el camino de propagación de las ondas y las condiciones locales del suelo en el sitio de interés. Dado que las leyes de atenuación son generalmente desarrolladas considerando información obtenida en roca base o suelo rígido de la actividad sísmica de diversas partes del mundo, los valores de

aceleración estimados generalmente no reflejan la amplificación de las ondas producto de las condiciones locales del suelo en un punto de interés determinado.

En el presente análisis del peligro sísmico se han empleado leyes de atenuación para cuantificar la aceleración horizontal máxima del suelo en la base y también permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Se empleó las leyes de atenuación para ordenadas espectrales propuestas por Youngs et al. (1997), Zhao et al. (2006), McVerry et al. (2006), Atkinson y Boore (2003) y BC HYDRO (Abrahamson 2015) que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración espectral para diferentes periodos estructurales.

$$Risk = 1 - e^{(-T/Tr)}$$

Donde:

Risk: Tasa de excedencia anual

T: Periodo

Tr: Periodo de retorno de intensidades

Tabla 10

Tasa de excedencia anual y tiempos de retorno

Risk (%)	T (años)	Tr (años)
10	50	475

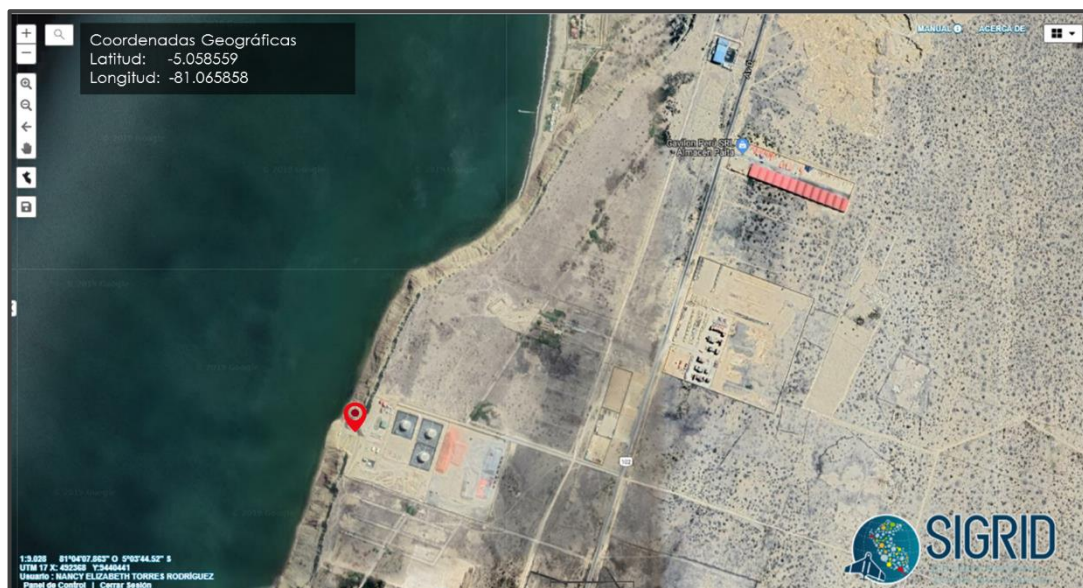


Figura 20: Latitud y longitud del terreno de evaluación

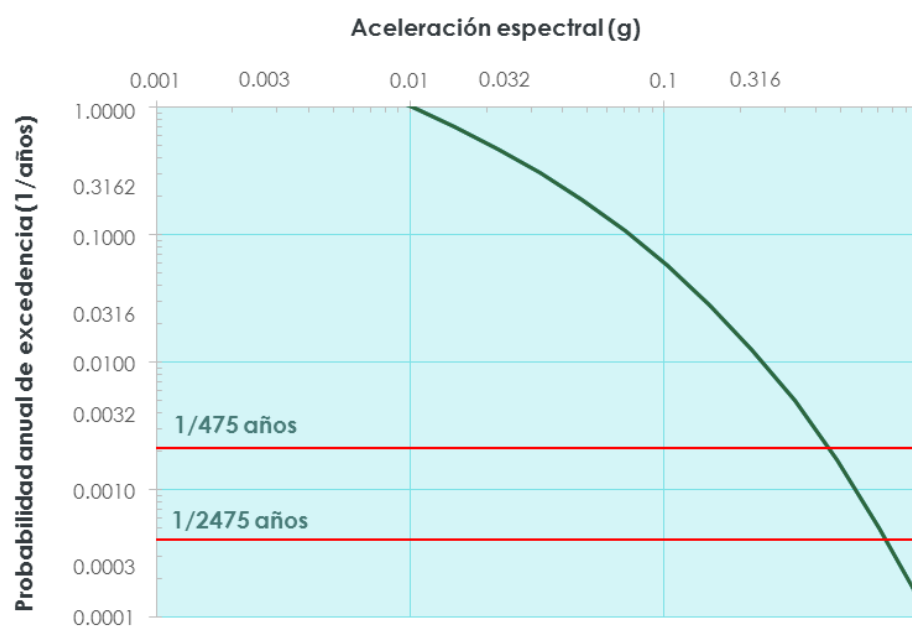


Figura 21: Probabilidad anual de excedencia vs aceleración espectral

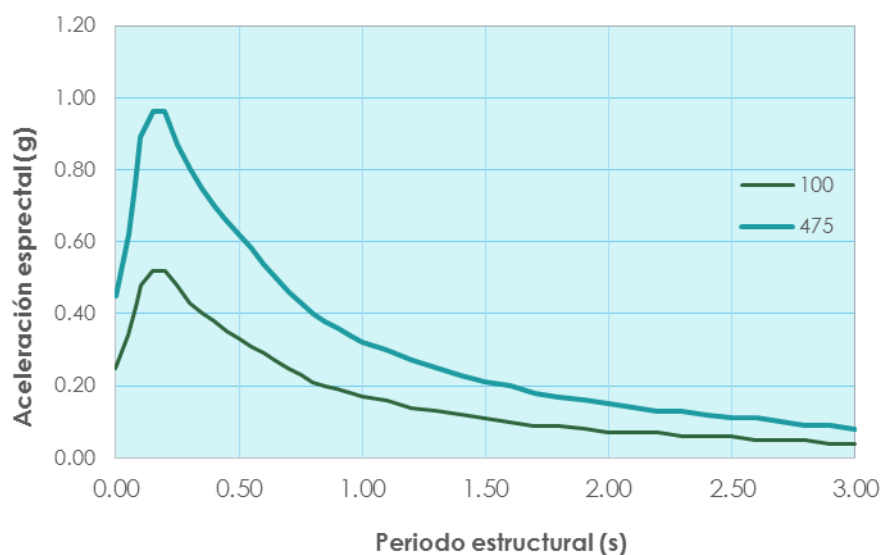


Figura 22: Espectro de peligro uniforme. $A_{\max} = 0.447g$. Tiempo de retorno 475

Se presenta la Curvas de “Probabilidad anual de excedencia VS. Aceleración espectral”, donde predeterminadamente se analiza para un amortiguamiento de 5% y un periodo de 0.00 (PGA). Esta gráfica tiene por abscisas a la Probabilidad anual de excedencia que es la inversa del Tiempo de retorno en años, y a la Aceleración espectral. La data sísmica empleada es hasta el 1 de enero del 2016.

Los resultados de la aceleración espectrales presentados en las curvas de probabilidad se encuentran expresados en unidades g. Estos valores de aceleración espectral son aquellos esperados a nivel de Roca (Tipo B y la parte más densa del rango de los suelos Tipo C según clasificación de sitio ASCE SEI 7-10) o suelo tipo S1 según clasificación de la norma peruana E.030, 2006 y 2016. El espectro de peligro uniforme se obtuvo del aplicativo de SENCICO.

Tabla 11

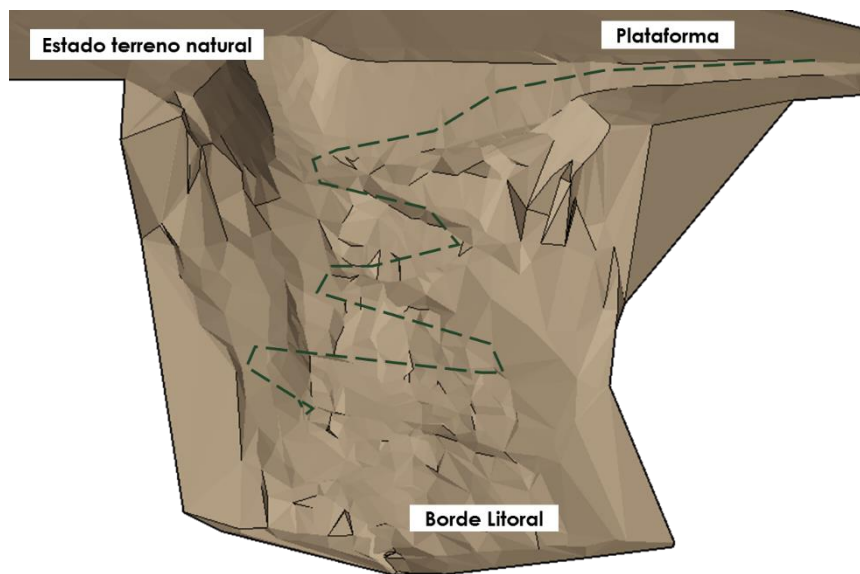
Tasa de excedencia anual y tiempos de retorno y PGA

Risk (%)	T (años)	Tr (años)	Aceleración máxima del suelo PGA (g)	A_{\max} diseño (g)	Coefficiente Sísmico
10	50	475	0.447	50% A_{\max}	0.22

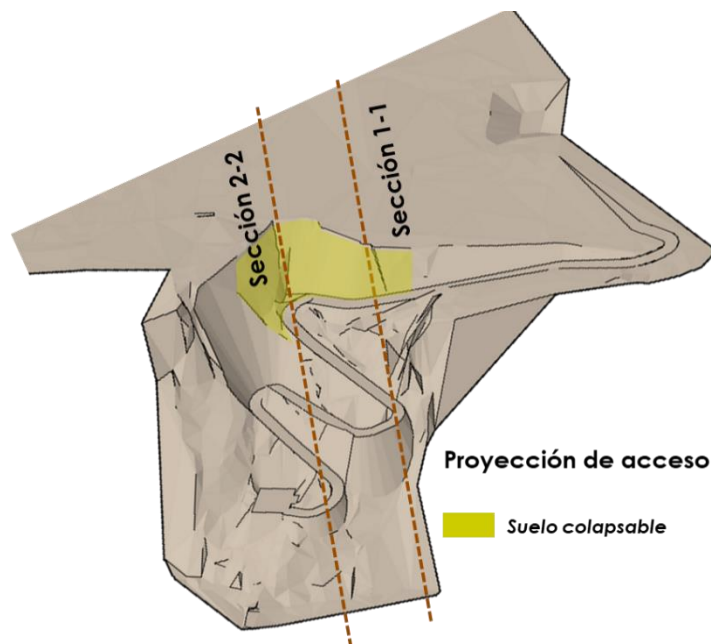
3.9.2. Instrumentos

3.9.2.1. Exploración de campo

Los trabajos de exploración en campo consistieron en el reconocimiento del área donde se van a proyectar las obras, de esta manera se distribuyeron convenientemente los muestreos de los cortes expuestos de las laderas y taludes. El talud en estudio presenta la siguiente topografía:



a) Topografía de terreno natural



b) Topografía con proyección de acceso

Figura 23: Topografía de talud de estudio.

Como se pudo en la figura anterior, la ladera ha sido reconvertida para una vía de acceso cercana al mar



Figura 24: Vista talud reconvertido para vía de acceso

▪ Muestreo en Ladera Talud

Se realizaron excavaciones manuales superficiales, estas fueron muestras inalteradas en bloques de 30 cm x 30 cm, para la determinación de la resistencia al corte, contenido de humedad y peso volumétrico. Además, se recolectó muestras alteradas para la ejecución de los ensayos estándar como granulometría y límites



Figura 25: Muestreo de talud Sección 2-2.

Capítulo IV

Resultados y discusión

4.1. Ensayos de laboratorio

4.1.1. Propiedades básicas del suelo

En general, el lugar de estudio estuvo compuesto por un talud de 70 m. La investigación de campo incluyó la recolección de bloques de material inalterado, recolectándose muestras a diferentes profundidades del talud. Asimismo, se obtuvo muestras alteradas de suelo para los ensayos de clasificación estándar. No se encontró nivel freático. Se realizó una serie de pruebas de laboratorio a las muestras seleccionadas, como contenido de humedad, densidad, límites de consistencia, análisis granulométrico por tamizado y ensayo de corte directo.

Tabla 12

Lista de ensayos y normativa empleada

Ensayo	Normativa		
	ASTM	NTP	MTC
Análisis granulométrico por tamizado	D-422	339.128	E-107
Contenido de humedad	D-2216-05	339.127	E-108
Límite líquido	D-4318	339.129	E-110
Límite plástico	D-4318	339.129	E-111
Peso volumétrico	-	339.139	-
Gravedad específica de los sólidos	D-854	339.131	E-113
Corte directo	D-3080	339.171	-
Sales solubles totales	D-516	339.152	E-219
Contenido de sulfatos solubles	D-516	339.178	-

Se han realizado pruebas de laboratorio para determinar las propiedades básicas e índices del suelo. El análisis granulométrico, límites líquido y plástico fueron realizados en conformidad general con los estándares ASTM (D422, D4318), en las cuatro muestras obtenidas. Los resultados de estas pruebas fueron utilizados para clasificar los suelos que componen el talud.



Figura 26: Ensayo de granulometría sección 2-2, M-2



Figura 27: Ensayo de límite líquido y límite plástico

A continuación, se presenta una tabla resumen, de los parámetros índice de las muestras analizadas:

Tabla 13*Resumen de los ensayos estándar de laboratorio*

Ubicación	Descripción	Granulometría (%)			Límites (%)		W (%)	Clasificación SUCS
		Grava	Arena	Finos	L.L	L.P.		
Talud sección 01	M-1	0.0	25.4	74.6	28	24	3	ML
Talud sección 02	M-1	0.0	13.3	86.7	25	23	5	ML
Talud sección 02	M-2	1.1	38.0	60.9	21	19	4	ML
Talud sección 02	M-3	0.5	6.4	93.1	28	25	2	ML

▪ Peso volumétrico

Para obtener una buena caracterización de los suelos en estudio se realizó el ensayo de peso volumétrico, mediante el método de la parafina. Para este ensayo se utilizó muestra inalterada, de esta manera se obtuvo la densidad natural.

**Figura 28:** Ensayo de peso volumétrico**Tabla 14***Resultados del ensayo de peso volumétrico*

Ubicación	Descripción	Peso volumétrico (gr/cm ³)	Peso volumétrico seco (gr/cm ³)
Talud sección 01	M-1	1.54	1.50
Talud sección 02	M-1	1.33	1.26
Talud sección 02	M-2	1.27	1.22
Talud sección 02	M-3	1.49	1.46

- **Gravedad específica de los sólidos**

Para Bowles (1981, p.62), la gravedad específica está definida como "el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C". La gravedad específica se determinó en las muestras seleccionadas de acuerdo con la norma ASTM D854.

Se realizó este ensayo únicamente para la muestra M-3 de la sección 2-2, al ser una muestra representativa del talud. El análisis de estabilidad se realizó en base a los ensayos de la muestra mencionada.



Figura 29: Picnómetro más muestra de suelo

Tabla 15

Resultados de ensayo de gravedad específica

Ubicación	Descripción	Gravedad específica
Talud sección 02	M-3	2.65

- **Ensayo de corte directo**

Se realizaron pruebas de resistencia al corte para determinar la resistencia representativa del suelo en la zona de falla del talud. Las pruebas fueron realizadas para cada muestra en condiciones insaturadas. La muestra M-3 fue re moldeada cinco veces, la primera se ensayó en condición insaturada, mientras que la demás fueron sometidas a diversos grados de saturación, obteniéndose de esta manera los parámetros de resistencia del suelo en estado saturado.



Figura 30: Muestra sometida a ensayo de corte.

Las muestras se prepararon utilizando diversas cantidades de agua para llegar a los grados de saturación deseados: 25,50,75 y 100%. Se consolidaron en el dispositivo de corte directo para recrear el estado del suelo en campo. De esta manera las muestras fueron inundadas con agua y sometidas a un esfuerzo vertical normal, permitiendo consolidarse antes del corte. Se usó un rango de valores de esfuerzo normal de 0.5 a 1.5 kg/cm² para la prueba de corte directo.

Tabla 16

Resultados de ensayo de corte, muestra insaturada

Ubicación	Descripción	Corte directo	
		c (kg/cm ²)	Φ (°)
Talud sección 01	M-1	0.2	39.4
Talud sección 02	M-1	0.18	37.6
Talud sección 02	M-2	0.11	40.4
Talud sección 02	M-3	0.25	34.2

Tabla 17

Resultados de ensayo de corte con variación de grado de saturación

Ubicación	Descripción	Grado de saturación (%)	Corte directo	
			c (kg/cm ²)	Φ (°)
Talud sección 02	M-3	5.72	0.25	34.20
		24.24	0.23	31.96
		55.08	0.22	29.24
		71.34	0.17	28.45
		95.13	0.17	26.10

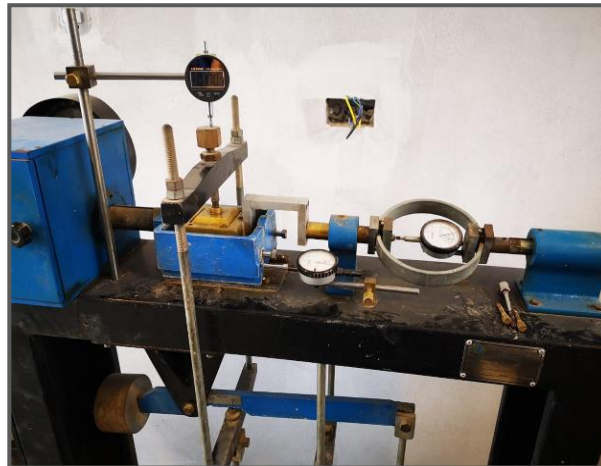


Figura 31: Equipo para ensayo de corte

- **Ensayo sales y sulfatos solubles**

Tabla 18
Resultados de ensayo de sales y sulfatos

Ubicación	Descripción	Sulfatos ppm	Sales ppm
Talud sección 02	M-1	4559	10456.5
Talud sección 02	M-2	691	5152.5
Talud sección 02	M-3	667	6387.0

4.2. Identificación de suelos colapsables

Se identificó la presencia de suelos colapsables en la zona de estudio, siendo formados por depósitos eólicos. De los resultados de laboratorio, el grado de saturación máximo de estos suelos fue 12.82% y el mínimo 5.81%, lo cual los define como suelos insaturados. Como sugiere la bibliografía, los suelos en estudio cumplen las condiciones para ser suelos colapsables al encontrarse en una región semiárida (Paita), poseer una alta relación de vacíos que varió de 0.76 hasta 1.17, lo cual indica la predominancia de presencia de vacíos, de esta manera presenta una porosidad mayor a 0.4. De los resultados de peso volumétrico seco, se obtuvo valores bajos (11.96-14.70 KN/m³), siendo denominados como limos eólicos.

Por otro lado, muchos suelos colapsables presentan límites líquidos debajo de 45 y límite plástico por debajo de 25 (Knodel, 1992). Los resultados de límites de consistencia de las muestras ensayadas presentan valores límites de consistencia por debajo de lo mencionado (Ver Tabla 13). A partir de los datos de laboratorio se determinan los valores de vacíos en el límite líquido y en condición de saturación, siendo este valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$e_L = LL * GS$$

Los parámetros anteriormente mencionados se presentan a continuación:

Tabla 19

Resumen de parámetros para la identificación de suelos colapsables

Ubicación	Descripción	e_o	e_{LL}	γ_d (KN/m ³)	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Sr (%)	n (%)	W sat (%)
Sección 01	M-1	0.76	0.75	14.70	3.18	28.25	24.35	3.90	9.25	0.43	28.79
Sección 02	M-1	1.11	0.66	12.35	5.49	24.80	23.01	1.79	12.82	0.53	36.34
Sección 02	M-2	1.17	0.57	11.96	4.21	21.46	19.24	2.22	9.81	0.54	38.07
Sección 02	M-3	0.97	0.74	14.31	2.10	27.95	25.13	2.82	5.31	0.49	29.00

A continuación se muestra de forma gráfica la relación de fases para el suelo en condiciones naturales:

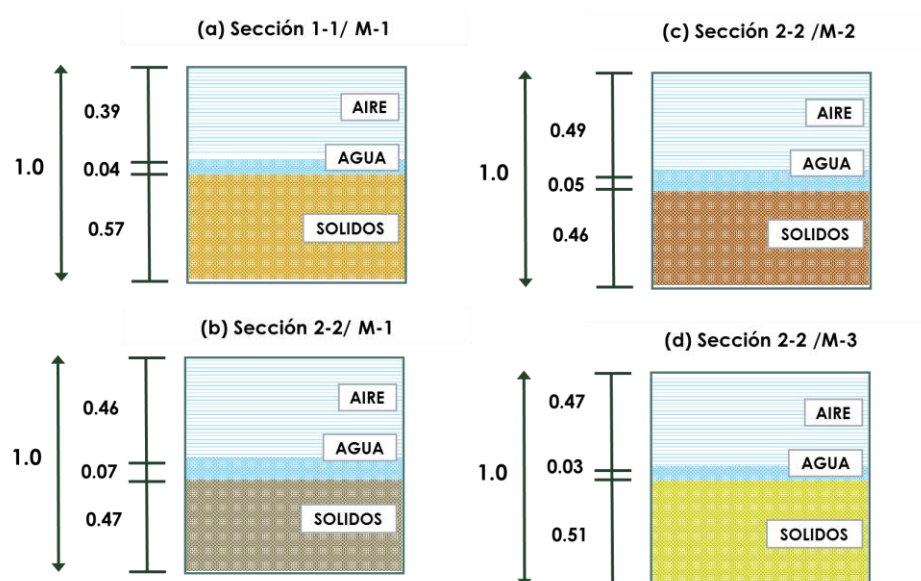


Figura 32: Relación de fases para los suelos en condiciones naturales

La Figura 32 presenta la relación de fases de las muestras en estudio, como se puede apreciar estos suelos presentan altas relaciones de vacíos, siendo expresado en un rango de 0.43 a 0.53 en proporción al volumen. Además, estos presentan bajo contenido de humedad ya que se encuentran debajo del 5 %.

La investigación de laboratorio puede ser utilizada para reconocer estos tipos de suelos problemáticos. Algunas propiedades como el peso unitario seco y el límite líquido son útiles para estimar el potencial de colapso. Del gráfico recomendado por la E-050, utilizando los resultados de la Tabla 13 y Tabla 14, se obtuvo lo siguiente:

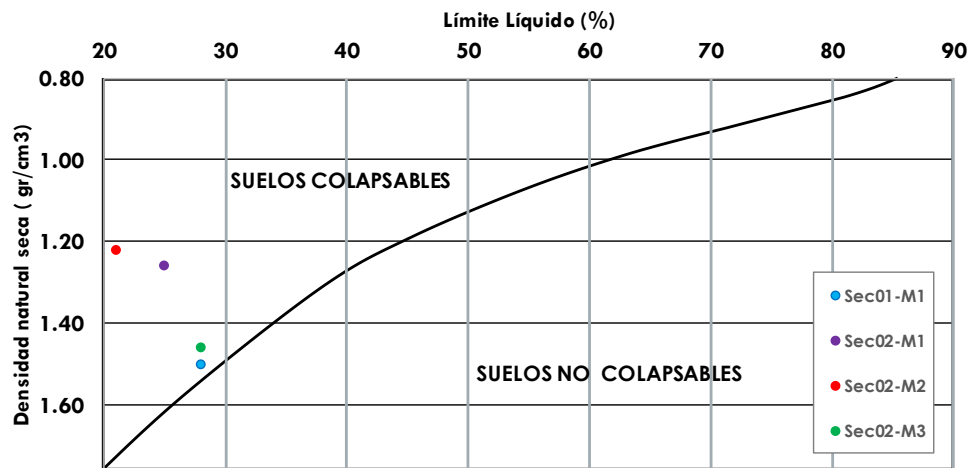


Figura 33: Criterio de identificación de suelos colapsables E-0.50

Se puede observar que las cuatro muestras analizadas caen dentro de la clasificación de suelos colapsables.

Asimismo, el gráfico recomendado por la U.S.B.R. mencionado por Carrillo (1991) es más específico respecto al rango del potencial de colapso, como se muestra en la siguiente figura:

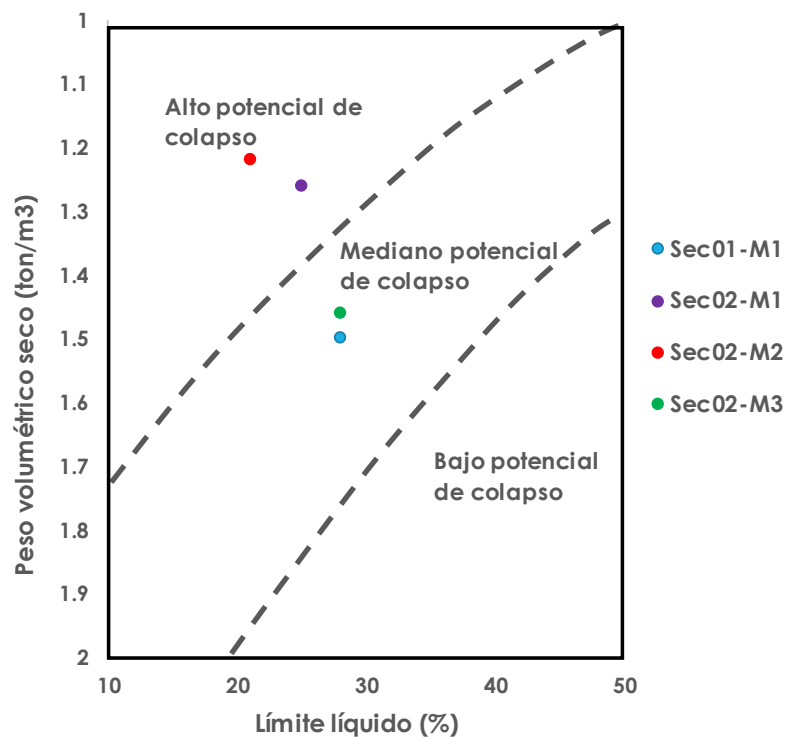


Figura 34: Límite líquido vs densidad natural seca

La figura anterior presenta el potencial de colapso para los suelos analizados, se tiene entonces un alto potencial de colapso en las Muestras M1 y M2 de la sección 2-2, siendo las demás muestras clasificadas con mediano potencial de colapso.

Con la finalidad de clasificar a el potencial de colapso de los suelos, una gran variedad de criterios ha sido propuestos en la literatura. Muchos de estos criterios determinan la condición crítica del colapso basado en la relación de vacíos, la densidad seca y el grado de saturación, límites de consistencia, contenido natural de agua y el porcentaje de partículas finas. Todas estas propiedades se presentan en la Tabla 19.

A continuación, se presentan diferentes criterios para la identificación de suelos colapsables mediante sus propiedades índices, estos criterios han sido expuestos en la Tabla 1.

Tabla 20*Criterio de identificación de suelos colapsables según diversos autores*

Criterio	Intervalo de desición	Valor de criterio			
		Sección 1-1 M-1	Sección 2-2 M1 M2 M3		
Denisov (1951)	K=0.5 - 0.75 - Muy colapsable				
	K=1.00 - limoarcilloso no colapsable	0.99	0.59	0.49	0.76
	K=1.00 - 2.00 Suelos no colapsables				
Cleverger (1958)	$\gamma_d < 12.6$ KN/m ³ el asentamiento será grande	14.70	12.35	11.96	14.31
	$\gamma_d < 14.1$ KN/m ³ el asentamiento será pequeño				
Priklonski (1952)	K _p < 0 - Suelo muy colapsable				
	K _p > 0.5 - Suelo no colapsable	-5.43	-9.79	-6.77	-8.17
	K _p > 1.0 - Suelo expansivo				
Gibbs (1961)	K > 1 Suelo propenso al colapso	1.02	1.47	1.77	1.04
Sovietic Building Code (1962)	S _r < 60%	0.01	0.21	0.28	0.12
	L > -0.1				
Fedá (1964)	S _r < 100%	-6.16	-6.16	-8.47	-8.77
	KL > 0.85				

La tabla anterior presenta numerosas investigaciones y criterios de potencial de colapso encontrados en la bibliografía rusa. El criterio propuesto por Denisov (1951) usa el coeficiente de asentamiento K, el cual es resulta de la división de la relación de vacíos en el límite líquido y la relación de vacíos natural. De acuerdo con este criterio si el coeficiente K está en el rango de 0.5 a 0.75 los suelos tienen alto potencial de colapso. Sin embargo, si el coeficiente es mayor a 1.5, los suelos no son colapsables. Para las muestras analizadas los resultados de laboratorio indican valores desde 0.49 hasta 0.99, siendo las muestras M-1 y M-2 de la sección 2-2 clasificados como altamente colapsables.

Clevenger (1956) propuso el criterio de colapso en términos de la densidad seca. Basado en las investigaciones en suelos loess en Missouri, el concluyó que al humedecer suelos con densidades menores a 12.6 KN/m³, estos presentan grandes asentamientos y tienen bajas resistencia al corte, por el contrario, si la densidad seca es mayor a 14.1 KN/m³, los suelos son capaces de soportar las cargas asignadas. Las muestras M-1 y M-2, del talud sección 2-2,

presentan un peso específico seco menor a 12.6 kN/m, por lo que son las que son propensas a presentar asentamientos considerables.

Por otro lado, Priklonski (1952) utiliza el índice de liquidez para estimar el grado de colapso. Especialmente si el índice de liquidez K_D , es menor a cero, los suelos tienen una alta colapsabilidad porque se encuentran en un estado seco y son susceptibles a la infiltración de agua. Si el índice de liquidez es mayor a 0.5 los suelos no son colapsables. Para las cuatro muestras ensayadas se obtienen valores negativos, lo que corrobora el potencial de colapso de estos suelos.

En adición a los criterios propuestos en la bibliografía rusa el Sovietic building code, mide el potencial de colapso basado en un parámetro denominado L, que depende de la relación de vacíos natural y la relación de vacíos en el límite líquido (ver Tabla 1). Para un grado de saturación natural menor a 60%, si $L > -0.1$, los suelos son considerados colapsables. Se presentan valores positivos en todas las muestras, por lo que se definen como suelos colapsables.

Gibbs (1961) propuso la medición del colapso de manera gráfica, la cual depende del cociente del contenido de agua durante la saturación total y el límite líquido. Cuando este cociente K, es mayor a uno (Caso I) la saturación conlleva al estado más débil del suelo, ya que el volumen de vacíos es suficiente para causar el colapso del suelo. Si K es menor a 1, el volumen de vacíos es insuficiente para almacenar el agua requerida para llegar al límite líquido, por lo que el suelo permanece en estado plástico y tiene mayor resistencia al corte (Caso II). De lo contrario si $K=1$, esto indica que el volumen de vacíos es suficiente para mantener el contenido de humedad en el límite líquido. Para los suelos analizados se tienen valores mayores a 1, por lo que se ubican en el caso uno, el cual es el estado más crítico debido a la alta relación de vacíos, como se indica a continuación:

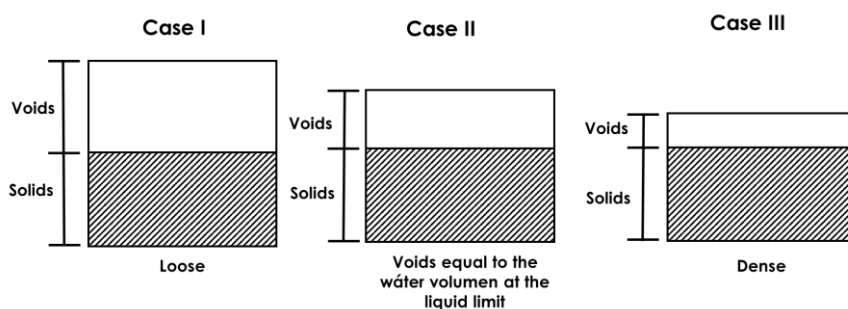


Figura 35: Criterio de potencial de colapso (Gibbs 1961)

Todas las muestras presentan una relación de vacíos mayor a 0.7, como se evidencia en la Tabla 19 y la Figura 32.

Finalmente, Feda (1964) aplicó un criterio similar al de Priklonski (1952), sin embargo este autor consideró el grado de saturación de los suelos. Feda propuso que para un grado de saturación menor a 100% el potencial de colapso es significativo si KL es mayor a 0.85 (que corresponderían a suelos con una porosidad mayor a 40%). Los resultados indican valores menores a 0.85, por lo que las muestras analizadas se consideran como no colapsables, sin embargo, presentan una porosidad mayor a 40% como se muestra en la Tabla 19.

De acuerdo a los resultados obtenidos por los criterios de identificación presentados en la Tabla 20, es apropiado indicar que para esta investigación las muestras en estudio presentan las características típicas de un suelo colapsable especialmente la muestra M-2 perteneciente a la sección 2-2 del talud.

La clasificación granulométrica realizada a las muestras se presenta de manera gráfica a continuación:

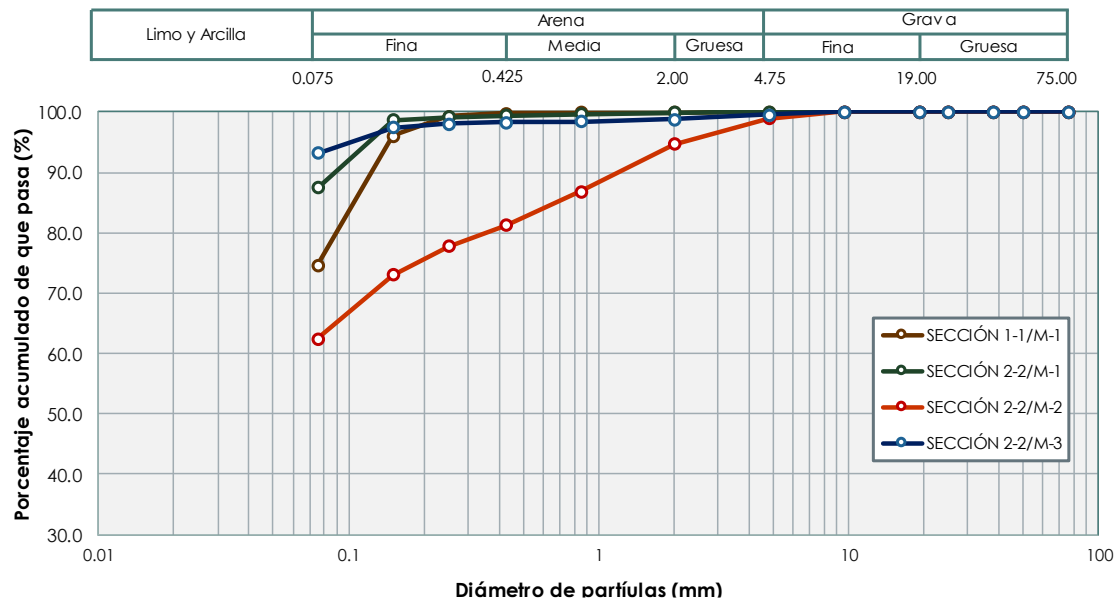


Figura 36: Granulometría de las muestras analizadas

Como se puede apreciar las muestras presentan un porcentaje de arena que varía entre 6.30% y 25.39%, y un porcentaje de finos que varía entre 62.51% y 93.08 %, por lo que consideran unos limos con presencia de arenas susceptibles a presentar el fenómeno del colapso.

Para identificar a un suelo colapsable tipo loess en campo, es necesario reconocer el material como un tipo de limo, con textura de harina, cuyo color es típicamente amarillo. Además, son estables en estado seco. El ángulo de fricción puede reducirse hasta en 10° después de la humectación. En laboratorio estos pueden ser identificados por sus propiedades índices, usualmente presentan un contenido de arena menor al 15%, un porcentaje de arcilla no mayor a 25%, una densidad seca menor a 1.4 gr/cm³, baja plasticidad y límite líquido menor a 50%. (Howayek, Huang, Bisnett, & Santagata, 2011).

Como es visto, en la presente investigación todas las muestras cumplen con las características descritas anteriormente.

El potencial de colapso está claramente afectado por la mineralogía del material, la relación de vacíos inicial, el grado de consolidación, la forma, tamaños y distribución de los poros, contenido de agua, agentes cementantes, espesor de la capa de suelo, magnitud de carga aplicada hidrostática o estructural. Asimismo, se ha demostrado que el contenido de sales solubles totales influye en gran manera en el potencial de colapso de los suelos finos. (Flores Mello, 2018). Las muestras analizadas presentan contenido de sales totales que varían desde los 5,000 ppm hasta los 10,000 ppm, como se indica en la Tabla 18.

El contenido de sales, cementa las partículas sólidas, proporcionando resistencia adicional al esfuerzo cortante del suelo, que luego de humedecido pierde su resistencia y con ello ocasiona grandes asentamientos. (Flores Mello, 2018).

Por ello se seleccionó una parte del suelo cementado del cual se identificó tamaños de 1" a 2" de diámetro y se introdujo en un recipiente con agua, el cual en menos de 5 minutos es disuelto totalmente como según se muestra:

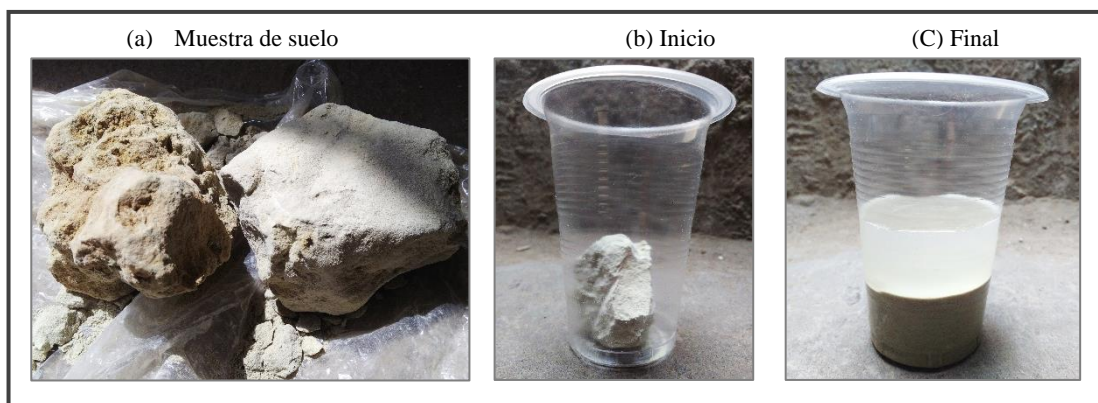


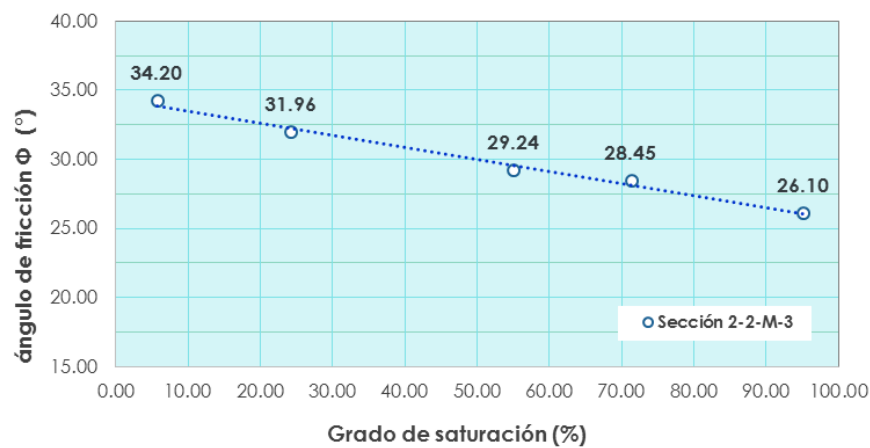
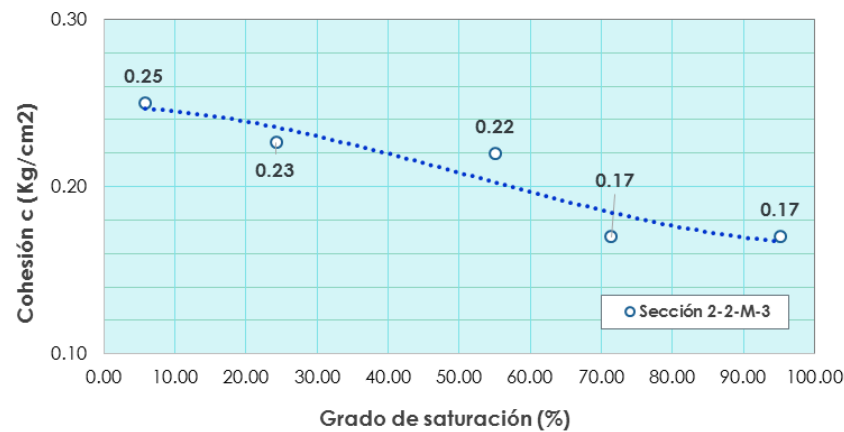
Figura 37: Comparación de suelo colapsable

En contenido de sulfatos usualmente se utiliza para determinar el grado de agresividad del suelo al concreto de la cimentación. De los resultados y los límites permisibles de agresión al concreto de acuerdo al ACI (American Concrete Institute), la muestra M-1 de la sección 2-2 presenta un grado de exposición S2, mientras que las muestras M-2 y M-3 de la misma sección presentan un grado de exposición S0 (Ver Tabla 18).

Tabla 21*Categorías y clases de exposición ACI 318.S-14*

Categoría	Clase	Condición
Sulfatos solubles en agua (SO_4^{2-}) en el suelo, % en masa		
Sulfato (S)	S0	$\text{SO}_4^{2-} < 0.10$
	S1	$0.10 \leq \text{SO}_4^{2-} < 0.20$
	S2	$0.20 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 2.00$
	S3	$\text{SO}_4^{2-} > 2.00$

Por otra parte, los resultados del ensayo de corte, evidencian una disminución notable de los parámetros de resistencia al ir aumentando el grado de saturación de los suelos como se muestra a continuación:

**Figura 38:** Variación del ángulo de fricción en función al grado de saturación M-3**Figura 39:** Variación de la cohesión en función al grado de saturación M-3

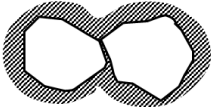


Las figuras anteriores muestran una disminución del 32% respecto a la cohesión en estado natural y saturado. El ángulo de fricción para un grado de saturación de 95.13% fue 26.10° esto representa una variación de 24% respecto al ángulo de fricción para un grado de saturación natural (5.72%).

Asimismo, la cohesión no muestra variación para un grado de saturación de 71.34% y 95.13%, mientras que el ángulo de fricción tiende a su reducción de manera lineal.

Se tiene diversa bibliografía para explicar esta disminución en los parámetros de resistencia presentado a continuación:

Osivop y Sokolov (1994), citado por Howayek, Huang, Bisnett, & Santagata (2011) manifiestan que las fuerzas moleculares entre las partículas y la resistencia de un suelo colapsable, disminuye con el incremento del grado de saturación. Esto se debe a que fuerzas iónicas electroestáticas y la capilaridad son similares en magnitud, sin embargo la fuerza iónica electroestática no es estable en presencia de agua, y la capilaridad solo existe en grados de saturación comprendidos ente 0.35% y 0.80%.

Los agentes químicos como sales, sesquióxidos de hierro y aluminio, pueden formar puentes de cementación más fuertes, sin embargo la resistencia de estos enlaces químicos dependerá de la naturaleza de cada agente. (Ver Figura 40).

Stage of hydration	Degree of water saturation	Strenght of single contact	Scheme of contact
A	< 0.15	$\cong 4 \times 10^{-7} N$	
B	$0.15 - 0.8$	$10^{-7} - 10^{-8} N$	
C	> 0.8	$10^{-9} - 10^{-10} N$	

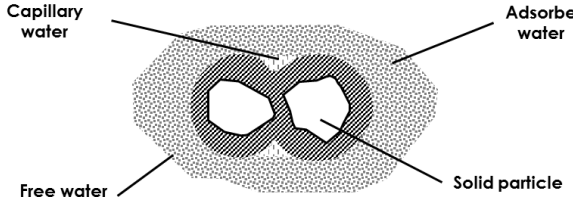


Figura 40: Variación de los enlaces estructurales en suelos colapsables bajo infiltración. Osipov y Sokolov (1994).

Para Redolfi (2007), La pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante en suelos está asociado a un cambio rápido de la relación entre presiones efectivas y deformaciones sin que se alcance la resistencia última del material. La causa del colapso es únicamente el cambio de las presiones efectivas.

El suelo estudiado cumple las condiciones generales que establece Dudley, Citado por Redolfi (2007) para que ocurra el colapso:

1. Estructura del suelo tiene ciertas características, de modo tal que se tiende a la ocurrencia de dicho fenómeno.
2. Las partículas están unidas entre sí por fuerzas o materiales cementantes, que son susceptibles, pueden ser anulados o reducidos cuando se aumenta el contenido de humedad del suelo.
3. Cuando este soporte es reducido o anulado, las partículas del suelo se deslizan o ruedan por la pérdida de la resistencia al corte.

Lo expresado en el párrafo anterior se evidencia en la Figura 41 que presenta la variación de envolvente de Mohr Coulomb para un estado de saturación natural y saturación al 95.13%.

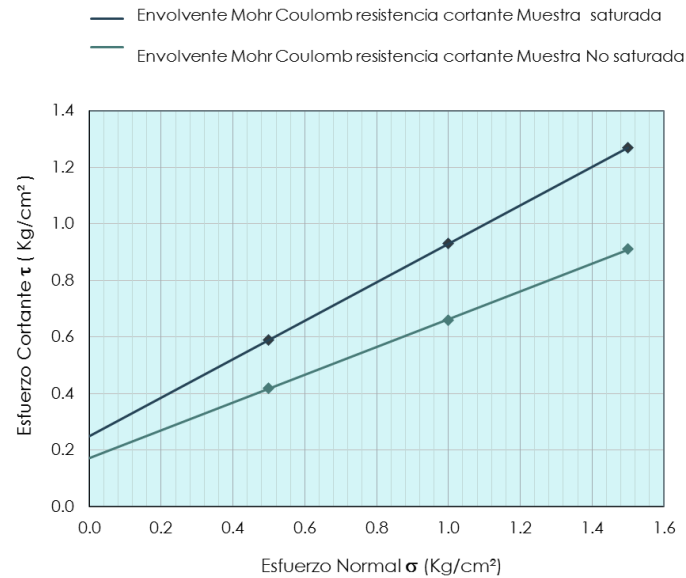


Figura 41: Parámetros de resistencia antes y después de la saturación

Para llevar a la muestra M3 a la saturación total, se requiere una humedad de 29%, sin embargo, el ensayo realizado se realizó a una humedad de 26.77%, dando un grado de saturación de 95.13%. Siendo el límite líquido 27.95% se evidencia el potencial de colapso que presenta este suelo. A continuación, se presenta la relación entre el contenido de humedad y el grado de saturación:

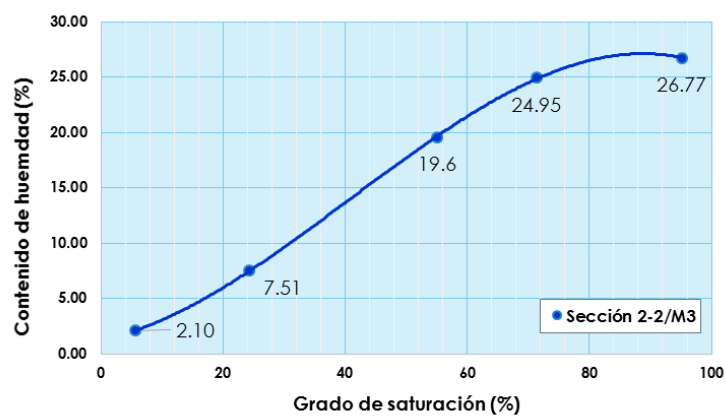


Figura 42: Contenido de humedad vs grado de saturación

4.3. Análisis de estabilidad de taludes

Se presenta el análisis de estabilidad de un talud de suelos de 70 m, ubicado a 4km del puerto de Paita. Se analiza el factor de seguridad para el talud actual, en condiciones insaturadas y los parámetros de diseño. Para estos últimos parámetros, se evaluaron distintos escenarios de diseño. Se analizó el talud mediante el método de equilibrio límite considerando el criterio de rotura de Mohr-Coulumb.

4.3.1. Condiciones actuales

Los taludes y terraplenes se encuentran usualmente en un estado insaturado antes de los eventos de humectación que conlleven a la falla. Si bien puede ser razonable evaluar la estabilidad a largo plazo asumiendo condiciones saturadas, para determinar la estabilidad existente de un talud o la evolución de esta en el tiempo, es necesario considerar la resistencia al corte del suelo bajo condiciones insaturadas. Además, es posible que los taludes puedan fallar cuando partes significativas de la superficie de falla estén en una condición insaturada.

4.3.2. Análisis de equilibrio límite

El software Slide fue diseñado para ser una herramienta integral para el análisis de estabilidad de taludes, basado en el método del equilibrio límite. En general en el equilibrio límite, el talud se discretiza en un número de rebanadas o cortes que están limitados por la superficie del suelo en la parte superior y la superficie de falla en la parte inferior. La estabilidad es examinada comparando las fuerzas producidas por la resistencia cortante a lo largo de la base de falla y las fuerzas producidas por la gravedad en dirección del deslizamiento. El factor de seguridad es definido por el método del equilibrio límite como un factor por el cual la resistencia cortante debe ser reducida para lograr que la masa del suelo se encuentre en equilibrio de fuerzas a lo largo de la superficie de falla especificada, en otras palabras, el equilibrio límite se logra cuando las fuerzas resistentes son iguales a las fuerzas que impulsan la falla.

En el presente estudio la superficie de falla potencial fue asumida como circular. Para la ejecución del análisis se creó un modelo simple. La geometría del talud se basó en las secciones obtenidas del levantamiento topográfico. La densidad natural y los parámetros de resistencia, requeridos para el análisis fueron basados en los ensayos de laboratorio. Las propiedades son resumidas en la Tabla 17. Para la sección se asumió un perfil homogéneo.

4.3.2.1. Sección evaluada para el análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad se enfoca en la simulación de comportamiento de taludes, por ello se emplea el equilibrio límite desde un punto de vista bidimensional. Se utilizó una sección representativa para el análisis de estabilidad, como indica en la Figura 43.

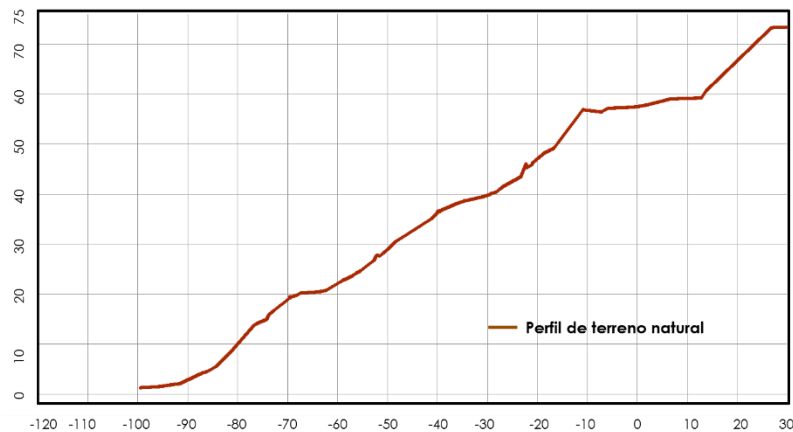


Figura 43: Sección de talud a analizar

La sección, fue exportada al software AutoCAD para generar el formato de sección con que finalmente se ingresará al software Slide v6.0.

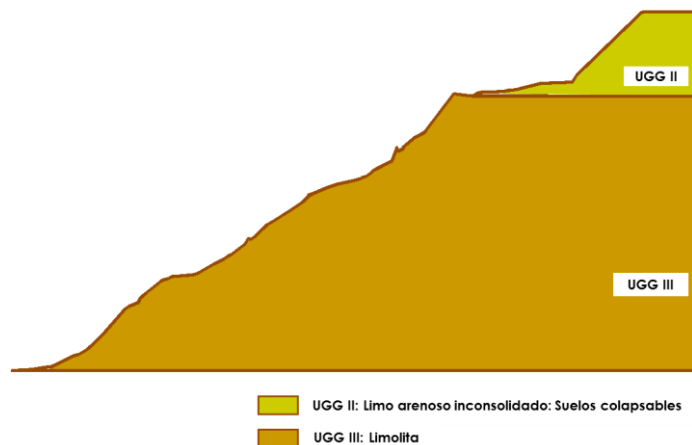


Figura 44: Disposición de estratos para modelamiento de talud

4.3.2.2. Análisis estático

Se importó la sección al programa Slide v6.0 y se definieron los materiales presentes. La parte inferior se definió como limolita, las características de los estratos fueron presentadas en la sección anterior.

Las alturas de los estratos definidos no son totalmente exactas. Sin embargo, se acerca bastante al perfil al perfil estratigráfico encontrado en campo. Se realizó el análisis en condiciones estáticas y pseudoestáticas, para los casos para la variación de los grados de saturación en el estrato denominado UGG. II Limo arenoso inconsolidado.

Se ejecutó el análisis en condiciones estáticas, variando los parámetros geotécnicos del primer estrato en función al grado de saturación. A continuación, se presenta los siguientes gráficos y tablas con los factores de seguridad para los 3 métodos de análisis considerados: Bishop simplificado, Spencer, GLE Morgenstern-Price.

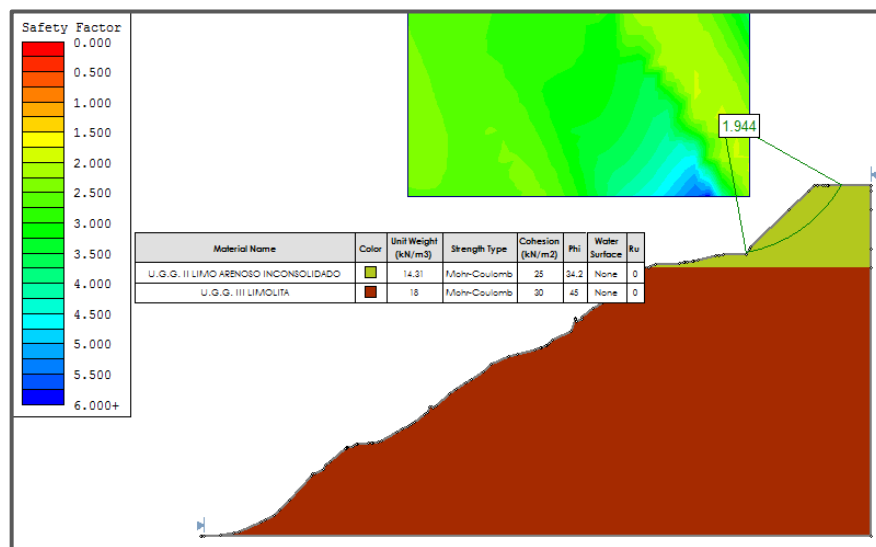


Figura 45: FS para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 5.72\%$

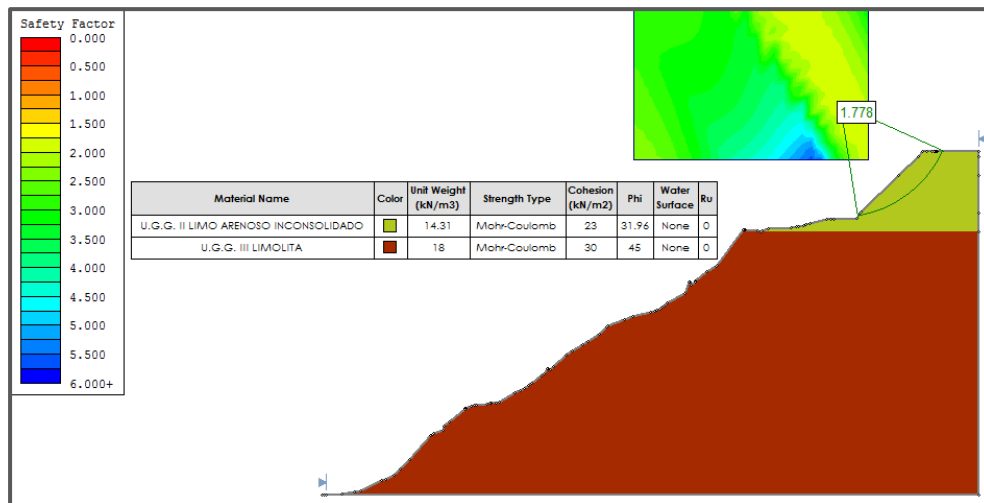


Figura 46: FS para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 24.24\%$

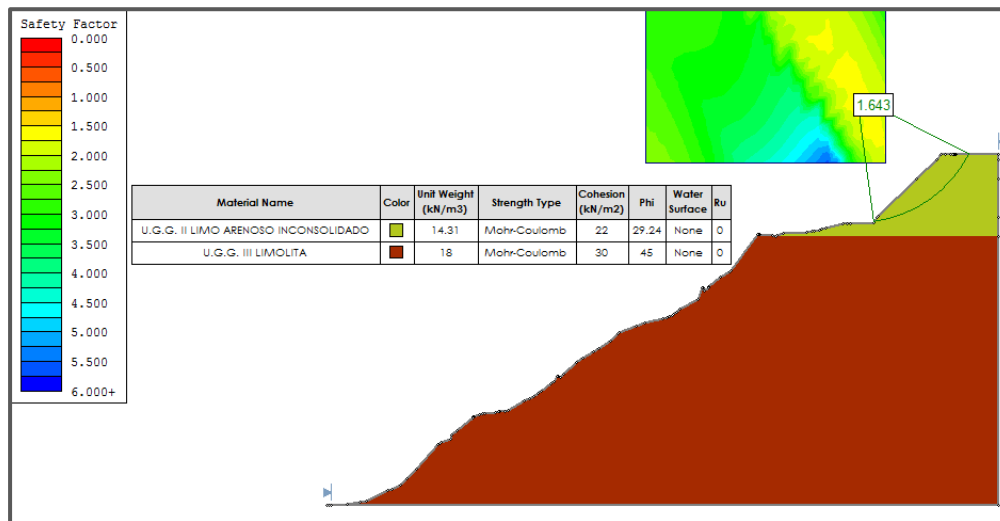


Figura 48: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 55.08\%$

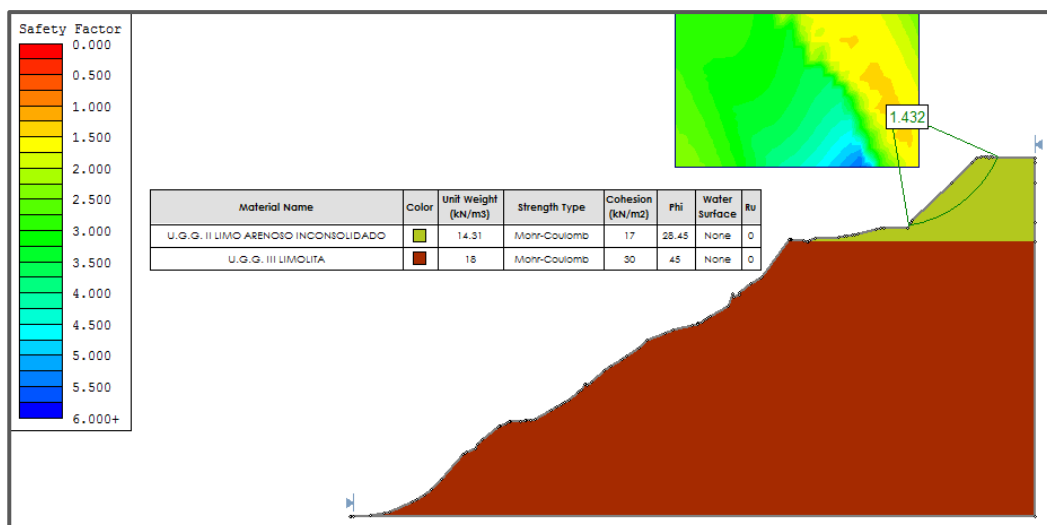


Figura 47: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 71.34\%$

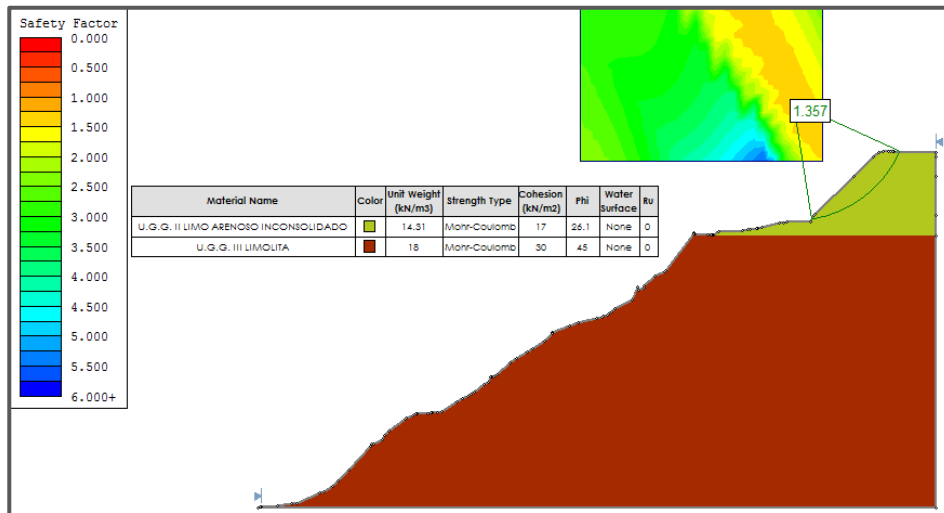


Figura 49: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 95.13\%$

A continuación, se presenta una tabla resumen de los factores de seguridad, respecto a la variación del grado de saturación en condiciones estáticas:

Tabla 22

Resumen factor de seguridad en condiciones estáticas

Análisis estático									
Grado de saturación (%)	Altura de Talud (m)	Angulo de talud (°)	Angulo Global (°)	FS Global			FS Banco		
				Bishop s.	Spencer	GLE, Morgenstern-Price	Bishop s.	Spencer	GLE, Morgenstern-Price
5.72	72	30	44	2.154	2.152	2.154	1.944	1.943	1.94
24.24	72	30	44	2.153	2.152	2.153	1.778	1.773	1.771
55.08	72	30	44	2.153	2.15	2.153	1.643	1.643	1.64
71.34	72	30	44	2.152	2.151	2.152	1.435	1.436	1.432
95.13	72	30	44	2.153	2.151	2.152	1.357	1.354	1.35

4.3.2.3. Análisis pseudoestático

Se realizó el análisis pseudoestático debido a que el talud se encuentra en la zona sísmica 4, en el borde litoral del puerto de Paita. Se ha considerado 50% de la aceleración máxima: 0.22 g.

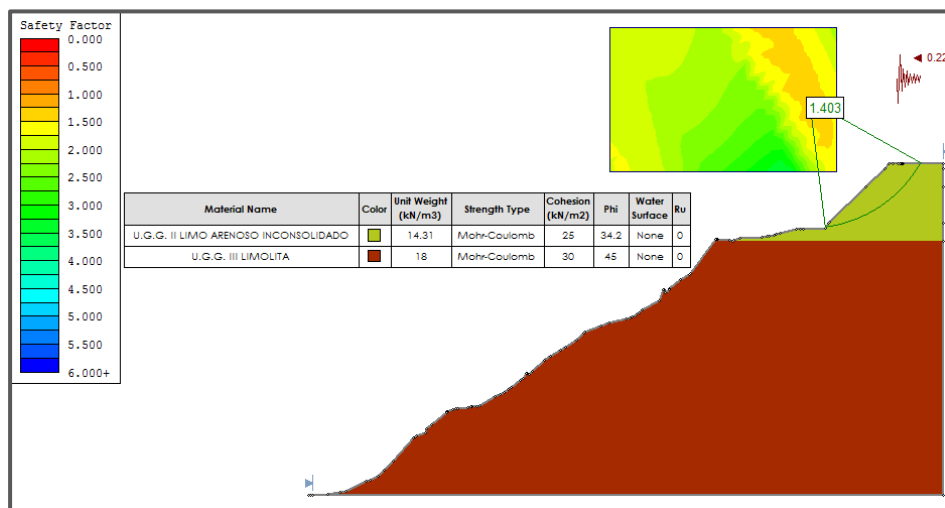


Figura 50: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 5.72\%$, en condiciones pseudoestáticas.

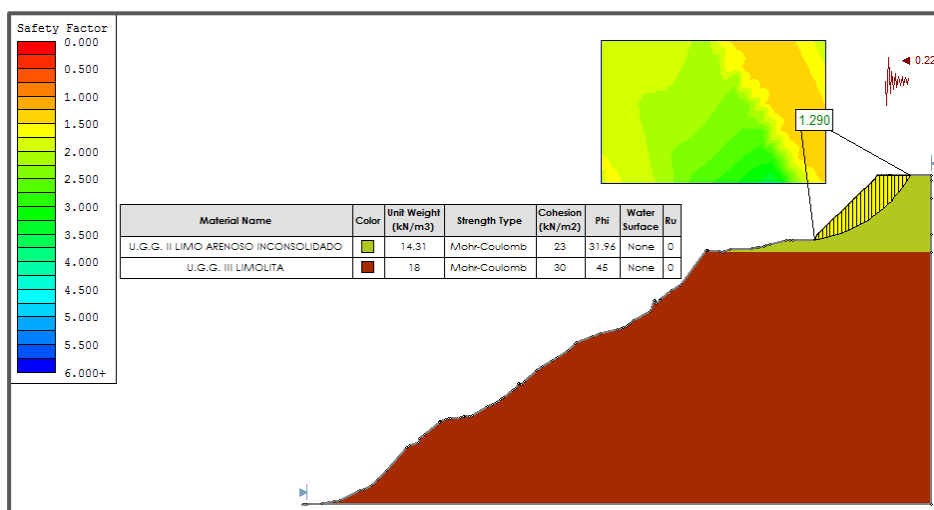


Figura 51: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 24.24\%$, en condiciones pseudoestáticas.

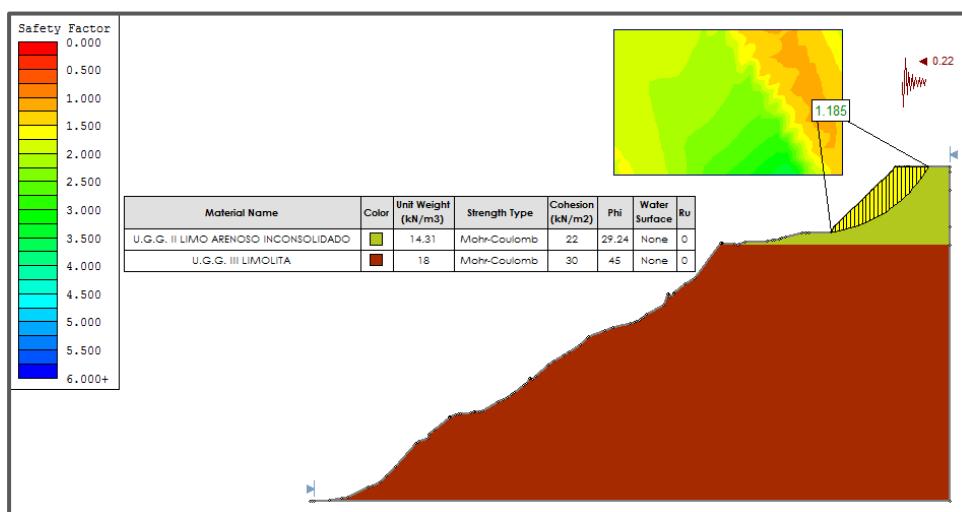


Figura 52: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 55.08\%$, en condiciones pseudoestáticas

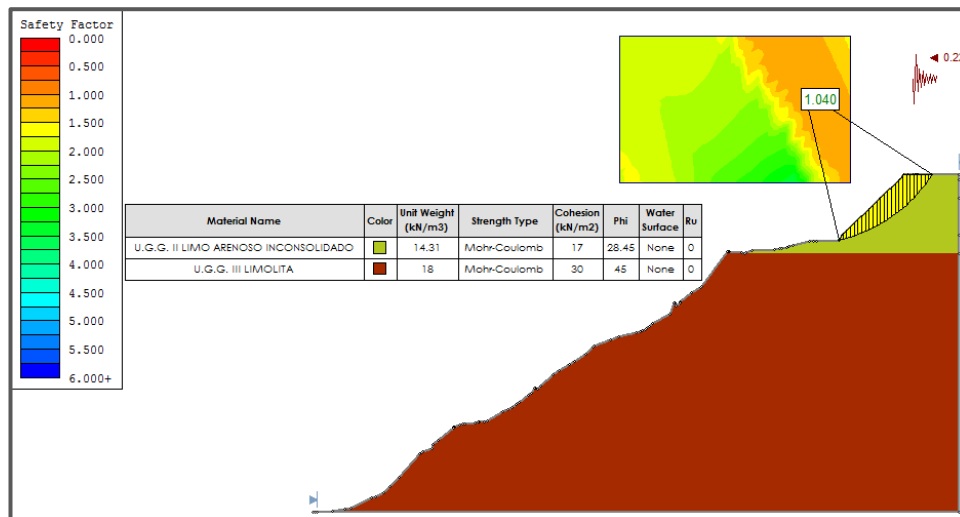


Figura 53: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 71.34\%$, en condiciones pseudoestáticas

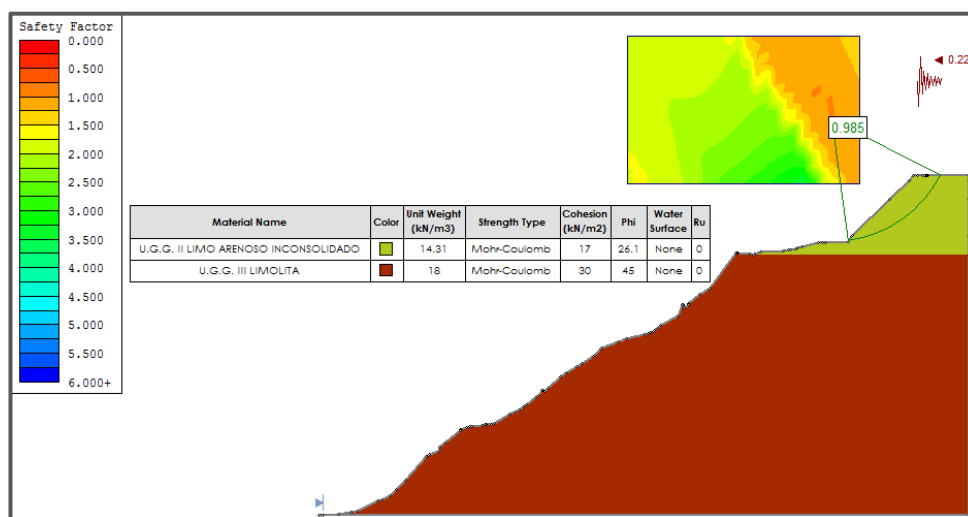


Figura 54: FS Para Sección 2-2 Método Bishop simplificado para $S_r = 95.13\%$, en condiciones pseudoestáticas

Tabla 23
Resumen factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas

Análisis pseudoestático									
Grado de saturación (%)	Altura de Talud (m)	Angulo de talud (°)	Angulo Global (°)	FS Global			FS Banco		
				Bishop s.	Spencer	GLE, Morgenstern-Price	Bishop s.	Spencer	GLE, Morgenstern-Price
5.72	72	30	44	1.436	1.439	1.439	1.403	1.402	1.402
24.24	72	30	44	1.436	1.438	1.439	1.290	1.293	1.288
55.08	72	30	44	1.432	1.438	1.439	1.191	1.192	1.185
71.34	72	30	44	1.425	1.438	1.435	1.040	1.036	1.036
95.13	72	30	44	1.421	1.433	1.433	0.985	0.984	0.980

La relación entre la resistencia del material y los esfuerzos que generan la falla se denomina factor de seguridad (FS), entonces cuando es menor a uno ($FS < 1$), el talud es inestable con una alta probabilidad de falla, cuando es igual a uno ($FS = 1$), el talud está en equilibrio, pudiendo estar en inminente ruptura o ocurrencia de falla, y cuando este valor es mayor a uno ($FS > 1$), el talud es estable.

La resistencia al corte de un suelo colapsable depende del grado de saturación peso unitario seco, índice de vacíos inicial, grado y tipo de cementación. Por lo tanto, mientras la resistencia al corte disminuye, se imponen los esfuerzos normales y gravitacionales se incrementa reduciendo la estabilidad del talud.

Se utilizó el factor de seguridad como base para interpretar el análisis de estabilidad de talud realizado en la presente investigación. Considerando las fallas de taludes ocurridas en el sitio de prueba, un correcto modelamiento debería dar como resultado un factor de seguridad cercano a la unidad, en otras palabras, con la correcta determinación de los parámetros resistentes, el análisis de estabilidad debe revelar una superficie de falla similar a la observada en campo y producir un factor de seguridad cercano a uno.

A continuación, se presentan los resultados de la investigación de manera gráfica, para facilitar la comprensión del comportamiento de los suelos colapsables en estudio. La relación que existe entre el factor de seguridad (FS) y el grado de saturación del suelo son determinantes. Se generan gráficas FS vs S_r (%) para condiciones estáticas y pseudoestáticas.

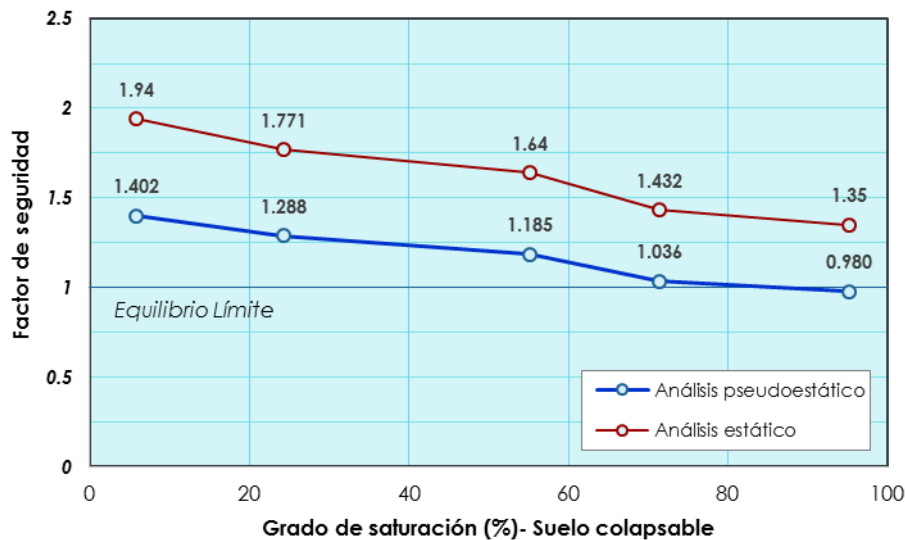


Figura 55: Variación del factor de seguridad vs factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

De lo anterior se puede expresar que el talud de 70 m de altura en condiciones óptimas (grado de saturación natural), cumple con el factor de seguridad requerido para asegurar la estabilidad del terreno, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas.

En condiciones estáticas, se admite un grado de saturación hasta de 55.08%, es decir un contenido de humedad de 19.6%, ya que el factor de seguridad es mayor a 1.5. El panorama cambia cuando se realiza un análisis pseudoestático ya que se obtiene un factor de seguridad de 1.29 a un grado de saturación de 24.24%, por lo que el suelo solo puede llegar a tener como máximo 7.51% de contenido de humedad. Humedades por encima de este valor incumplen con el factor de seguridad recomendado por la normativa: 1.25.

En condiciones de saturación críticas de la UGG II, formado por suelos colapsables, se evidencia una disminución del factor de seguridad a medida que se incrementa el grado de saturación, por lo tanto la presencia de agua en el suelo. Respecto al suelo en estado natural y saturado, el factor de seguridad se redujo en un 30% en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

El talud de ángulo general 30° presenta buenas condiciones de estabilidad global, bajo la carga de sismo incluso disminuyendo los parámetros de resistencia de la UGG II, esto es razonable ya que más del 70 % del talud está formado por rocas sedimentarias denominadas limolitas.

En la Figura 55, se puede apreciar además que ante un grado de saturación de 95.13% y carga sísmica, el factor de seguridad está por debajo de 1, lo que indica que el talud se encuentra en un estado de falla inminente. Los suelos colapsables, en estado seco, muestran ser materiales óptimos para la mayoría de diseños, sin embargo, se debe tener cuidado con su comportamiento bajo condiciones de exposición al humedecimiento.

4.4. Recomendaciones para estabilización de taludes

Para el caso crítico de análisis se propone el sostenimiento del talud con muros de suelo reforzado, de esta manera disminuyendo los parámetros de resistencia de la UGG II limo arenoso inconsolidado $c=0.17 \text{ kg/cm}^2$, $\Phi=26.1^\circ$, para el grado de saturación de 95.78% se obtiene un factor de seguridad estático de 1.588 y pseudoestático 1.126. Esto se debe a que los muros propuestos logran absorber los círculos de falla estabilizando la superficie.

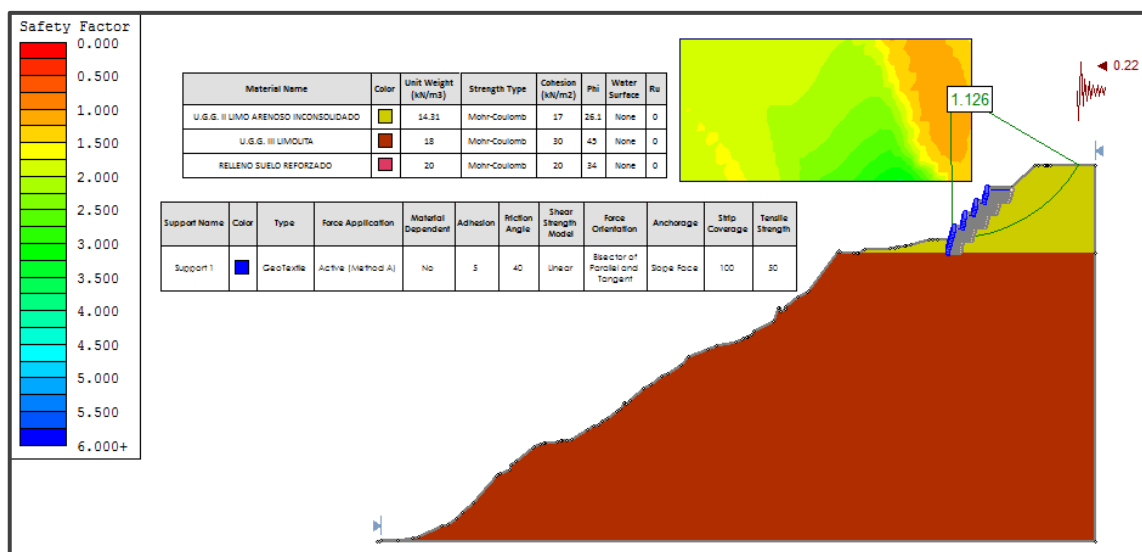


Figura 56: FS método GLE, Morgenstern-Price, para talud reforzado con grado de saturación crítico en condición pseudoestática

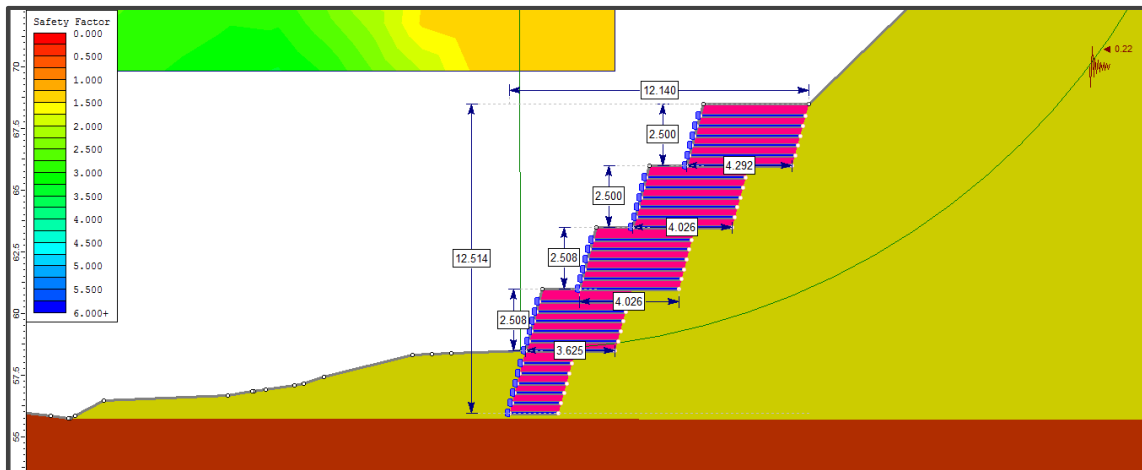


Figura 58: Disposición del muro de suelo reforzado integrado en el talud.

Como se puede observar del análisis de estabilidad, desde el punto de vista de estabilidad interna, con la propuesta de muros reforzados con geomallas, se alcanzan los factores de seguridad satisfactorios para garantizar la estabilizar la estabilidad de la estructura. Sin embargo, es importante recalcar que la estabilidad general esta condiciona al suelo de fundación y circundante a la estructura reforzada. En los análisis realizados de estabilidad global, se verifica los valores mínimos exigidos para condiciones estáticas y pseudoestáticas 1.50 y 1.05, respectivamente.

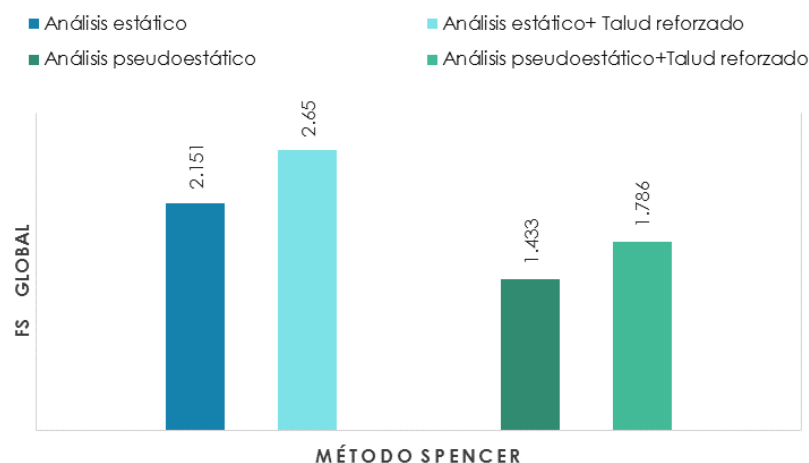


Figura 59: Comparación del FS Global método Spencer, para talud reforzado- caso Sr crítico

De acuerdo a los análisis presentados, luego de incorporar los muros de suelo reforzado se evidencia que las estructuras son estables globalmente para los dos escenarios, estático y pseudoestático en el escenario de saturación crítica.

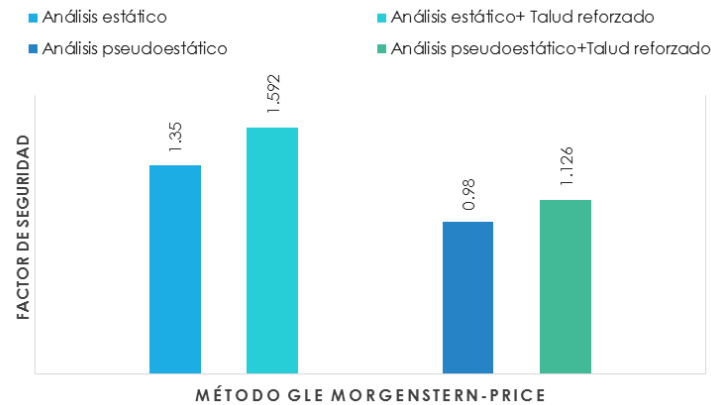


Figura 60: Comparación del FS, método Spencer de banco para talud reforzado-caso de Sr crítico.

El sostenimiento con muros de suelo reforzado, aumenta el factor de seguridad en un 19% para el caso de análisis estático y en un 15% para el análisis pseudoestático, como se muestra en las figuras anteriores.

4.4.1. Conformación de la estructura

Se propone el uso de geotextiles, que actuarán como componentes estructurales fundamentales, al intercalarse dentro de capas de suelos, las cuales se han previsto de 60 cm, en espesores constructivos de 30 cm.

Además, considerando que la inestabilidad del talud surge ante una situación crítica de saturación del suelo, se debe de evitar el humedecimiento de este, es decir prestar una mayor atención ante posibles precipitaciones. Por lo que se prevé que los muros se construyan colocando geomantos, que ayudarán con la parte visual y controlará el efecto erosivo producto de las lluvias.

4.4.1.1. Suelo de conformación

Se recomienda utilizar material granular proveniente de la trituración, considerando los parámetros utilizados para el análisis de estabilidad, este debe estar constituido por partículas sólidas y resistentes, totalmente libres de material orgánico o sustancias deletéreas que puedan presentar cambios en su resistencia a lo largo del tiempo. En general se recomienda utilizar gravas arenosas mal gradadas a bien gradadas (clasificación SUCS GP, GW) o un material con una proporción de finos (pasante de la malla 200) menor al 20%, índice de plasticidad menor al 12% y un tamaño máximo de agregado de 4 plg (100 mm). En todo caso el material debe compactarse hasta lograr una densidad superior al 98% de la máxima obtenida en la prueba próctor en capas no menores a 20 cm ni mayores a 35 cm, y se deberá verificar que se alcancen los valores de los parámetros de resistencia consignados en la Figura 57.

El geotextil tejido de alto modulo corresponde a una tensión de 50 KN/m, sus detalles se indican en el Anexo B.

4.4.2. Control de erosión

La capacidad de resistencia en condiciones naturales de los depósitos identificados como UGG-II limo inconsolidado y UGG-III limo lita son moderados a altos. Sin embargo, la UGG-II, ante un cambio en su humedad, presenta una disminución notable en su resistencia al corte, por ello se recomienda la cobertura de su perfil mediante mantos que no permitan el flujo de aguas pluviales y de escorrentía.

Para controlar la erosión sobre el talud, se recomienda el uso de una manta liviana geotextil tejido (ver Anexo B) para mitigar los efectos de erosión por vientos y aguas pluviales, acompañado de las adecuadas obras para manejo de escorrentía superficial como cunetas de coronación y estructuras de descote. De esta manera se mantendrían sus propiedades resistentes al corte en estado natural del talud expuesto.

Es necesario indicar que los taludes se encuentran en la estabilidad al ser afectadas por el sismo de diseño de 0.22 g, considerando las características y propiedades físicas naturales registradas, sin el sometimiento ni afectos del humedecimiento y saturación a los materiales expuestos en el talud. Por lo tanto, se deberá mantener esta condición de estabilidad, que parte de las propiedades in situ del material (grado de saturación natural), considerando las protecciones indicadas en el párrafo anterior.

4.5. Contraste de hipótesis

Hipótesis general

HG: El grado de saturación de los suelos colapsables incide significativamente en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.

-Contraste

Se acepta la hipótesis general de investigación HG, entonces se tiene que la incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables y la estabilidad de taludes del puerto de Paita – Piura en el año 2019 es altamente significativa.

Hipótesis específicas

HE1: Los suelos que conforman los taludes del puerto de Paita-Piura son suelos colapsables que presentan bajas densidades y bajos contenidos de humedad, además disminuyen sus propiedades mecánicas cuando se acercan al grado de saturación.

-Contraste

Se acepta la hipótesis específica de investigación HE1, entonces se tiene que los suelos colapsables que conforman los taludes del puerto de Paita- Piura en el año 2019, presentan bajas densidades y contenidos de humedad, disminuyendo sus propiedades mecánicas cuando se acercan al grado de saturación.

HE2: El factor de seguridad, para la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura, sobrepasa lo especificado en la normativa es decir es mayor a 1.5 cuando se realiza el análisis estático, y mayor a 1.25 para el caso pseudoestático.

-Contraste

Se acepta la hipótesis específica de investigación HE2, para los parámetros de resistencia del suelo en condiciones naturales ($S_r=5.72\%$), ya que se tiene un factor de seguridad de 1.94 en condiciones estáticas y 1.43 en condiciones pseudoestáticas.

Sin embargo, para el caso de saturación del suelo, se obtiene el factor de seguridad estático de 1.35 y 0.98 para las condiciones pseudoestáticas. Se evidencia entonces un estado de falla para la condición saturada del suelo.

HE3: La alternativa de reforzamiento para lograr la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019, son el sistema terramesh y el uso de geosintéticos.

-Contraste

Se acepta la hipótesis específica de investigación HE3, siendo los muros de tierra reforzados una buena opción para la estabilización de taludes, ya que aumentan el factor de seguridad en hasta un 15%. De esta manera se obtienen factores de seguridad mayores a 1.50 y 1.05 en los casos de análisis estático y pseudoestático respectivamente, todo ello considerando el estado de saturación crítica del suelo.

5.6. Discusión de resultados

En esta parte se tendrá que contrastar los resultados obtenidos con lo hallado por otros investigadores, resaltando las similitudes y discrepancias entre ellas. En la hipótesis general, se concluye que el grado de saturación de los suelos colapsables incide significativamente en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019, este resultado es compatible con lo hallado por Aisulu Zhakulina & Akhmetov (2017), en su investigación de las propiedades de suelos colapsables en Kazakhstan, los autores concluyen que la condición más desfavorable ante la estabilidad del talud es el estrato de suelo colapsable con sus propiedades físicas en estado de saturación. Por otro lado, Londoño Manrique & Ardila Montiel (2016) en su investigación de parámetros geotécnicos de taludes en suelos expansivos, concluyen que entre mayor sea el valor de cohesión, mayor será la atracción y unión de las partículas de suelo, evitando que se presente un proceso de deslizamiento. Esto se puede analogar a la investigación realizada ya que los suelos colapsables disminuyen su cohesión al entrar en contacto con el agua, esto a su vez ocasiona la reducción de factor de seguridad para el talud propuesto.

Adicionalmente se concluye que los suelos colapsables que conforman los taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019, presentan bajas densidades y bajos contenidos de humedad, además disminuyen sus propiedades mecánicas cuando se acercan al grado de saturación. Este resultado muestra compatibilidad con lo hallado por Qasim Abdulkarem (2014), el autor indica que el colapso crítico está influenciado por un bajo contenido de humedad y densidad, además se presenta un cambio de volumen en respuesta a la inundación bajo una tensión vertical. El cambio de volumen final del suelo resultante de un proceso de humectación se denota como deformación. Adicionalmente Quijano Arias & Tenjo Ramos (2018), en su investigación de análisis de efectividad de métodos de estabilización en suelos colapsables, concluyen que los suelos colapsables se caracterizan por tener bajos valores de cohesión y presentar relaciones de vacíos altas, además de estar unida entre sí por fuerzas o materiales cementantes, características que coinciden con los suelos investigados.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

1. El grado de saturación de los suelos colapsables incide significativamente en la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019.
2. Los suelos que conforman los taludes del puerto de Paita-Piura son suelos colapsables que presentan bajas densidades y bajos contenidos de humedad, además disminuyen sus propiedades mecánicas cuando se acercan al grado de saturación. Como sugiere la bibliografía, los suelos en estudio cumplen las condiciones para ser suelos colapsables al ubicarse geográficamente en una zona semiárida (Paita), ser un material clasificado como limo con presencia de arenas (ML), con textura de harina, de color amarillo y estable en estado seco.
3. De los resultados de laboratorio estos suelos pudieron ser identificados por sus propiedades índices, ya que presentaron las características típicas de un suelo

colapsable como una elevada relación de vacíos (e) que varió entre 0.76 hasta 1.17, porosidades mayores a 0.4, densidad seca: 11.96-14.70 KN/m³, un contenido de arena menor al 15%, límites líquidos debajo de 45 y límite plástico por debajo de 25. Además, para un grado de saturación de 95.13%, la cohesión y el ángulo de fricción se redujeron en 32% y 24% en relación a los parámetros iniciales de resistencia para un grado de saturación natural (5.72%).

4. Por otra se evaluó diferentes criterios para la identificación de suelos colapsables propuestos por Denisov, Cleverger, Priklonski, Sovietic Building code y Gibbs, estos dieron como resultado que el suelo estudiado presenta características de un suelo colapsable. Además, según el criterio recomendado por la U.S.B.R. las muestras M1 y M2 de la sección 2-2 presentan un alto potencial de colapso, mientras las muestra M1 Sección1-1 y la muestra M3 Sección 2-2 son clasificadas con mediano potencial de colapso.
5. Las muestras analizadas presentan contenido de sales totales que varían desde los 5,000 pmm hasta los 10,000 ppm. Además de presentar una condición de exposición de sulfatos al concreto que varía desde tipo S0 a S2.
6. El factor de seguridad, para la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura, sobrepasa lo especificado en la normativa es decir es mayor a 1.5 cuando se realiza el análisis estático, y mayor a 1.25 para el caso pseudoestático. El talud de 70 m de altura y un ángulo global de (30°), en condiciones óptimas (grado de saturación natural), cumple con el factor de seguridad requerido para asegurar la estabilidad del terreno, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas.

7. Al variar las condiciones de humedad, en condiciones estáticas, se admite un grado de saturación hasta de 55.08%, es decir un contenido de humedad de 19.6%, ya que el factor de seguridad es mayor a 1.5. El panorama cambia cuando se realiza un análisis pseudoestático ya que se obtiene un factor de seguridad de 1.29 a un grado de saturación de 24.24%, por lo que el suelo solo puede llegar a tener como máximo 7.51% de contenido de humedad. Humedades por encima de este valor incumplen con el factor de seguridad recomendado por la normativa. Respecto al suelo en estado natural y saturado, el factor de seguridad se redujo en un 30% en condiciones estáticas y pseudoestáticas.
8. Las alternativas de reforzamiento para lograr la estabilidad de taludes del puerto de Paita-Piura en el año 2019, son el sistema terramesh y el uso de geosintéticos. Para el caso crítico de análisis se propone el sostenimiento del talud con muros de suelo reforzado, de esta manera disminuyendo los parámetros de resistencia del suelo colapsable a $c=0.17 \text{ kg/cm}^2$, $\Phi=26.1^\circ$, para el grado de saturación de 95.78% se obtiene un factor de seguridad estático de 1.588 y pseudoestático 1.126. Esto se debe a que los muros propuestos logran absorber los círculos de falla estabilizando la superficie.
9. El sostenimiento con muros de suelo reforzado, aumenta el factor de seguridad en un 19% para el caso de análisis estático y en un 15% para el análisis pseudoestático, en condiciones de saturación crítica del suelo.
10. Para controlar la erosión sobre el talud, se recomienda el uso de una manta liviana geotextil tejido para mitigar los efectos de erosión por vientos y aguas pluviales, acompañado de las adecuadas obras para manejo de escorrentía superficial como cunetas de coronación y estructuras de descote.

5.2. Recomendaciones

Basado en los resultados de la presente investigación experimental, el desafío surge de los suelos colapsables en la ingeniería geotécnica, por lo que se sugieren las siguientes investigaciones:

- Primera:** Estudiar el grado de saturación que pueden llegar a tener estos suelos, por el aumento de las precipitaciones ocasionadas por el fenómeno del niño. Esto ayudará a simular las condiciones de humedad reales de estos suelos en el contexto del cambio climático.
- Segunda:** Complementar los resultados que han sido obtenidos en este estudio, mediante estudios de deformación por colapso, es decir realizar ensayos de esfuerzo-deformación para muestras inalteradas de suelo, sometidas a diversos grados de saturación.
- Tercera:** Investigar el efecto del contenido del yeso y los sulfatos en el grado de colapso de los suelos. Dicha investigación se puede basar en la ejecución de varios ensayos a esfuerzos normales variables y constantes, con un aumento gradual del grado de saturación.
- Cuarta:** Un modelamiento numérico, basado en el comportamiento del suelo para la evaluación de asentamientos.
- Quinta:** Finalmente se recomienda tener precaución con estos suelos, especialmente en estructuras asociadas a los proyectos de irrigación ya que la hidrocompactación puede causar daños severos en estas obras.

Referencias

- Aisulu Zhakulina, A. Z., & Akhmetov, Y. (2017). Collapsible soil properties research. *Proceedings of the 19 th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, 2239-2242.
- Altamirano Reyna, G. L., & Rivas Vera, J. J. (2015). *Propuesta de remediación geotécnica de un talud incorporando un muro de suelo reforzado con el sistema terramesh para el proyecto de la carretera Matarani-El Arenal*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGRAW-HILL.
- Braja, M. D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thompson Learnig.
- Cabana Ticona, O. (2016). *Evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes desde la progresiva Km. 09+0.000-18+000 de la obra: mejoramiento de la carretera tramo I Dv. Cara Cara-Lampa*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Campos Rodríguez, J., & Guardia Niño de Guzmán, M. (2005). *Apoyo didáctico al aprendizaje de la asigantura de Mecánica de Suelos II*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón Bolivia.
- Carrillo, G. A. (1991). Casos de cimentaciones especiales en el Perú. *Revista el ingeniero civil*, Vol.1.
- CISMID. (1984). *Manual de Protección de Taludes*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería-Asociación de carreteras de Japón.
- Condori Quispe, B. M. (2012). *Investigación del conglomerado especial en la ciudad de Tacna*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (5a. ed.). México: Limusa.

- Escobar Potes, C. E., & Duque Escobar, G. (2017). *Geotécnia para el trópico andino*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Fernandez Sixto, E. A. (1998). *Investigación del conglomerado colapsable de la Cano-Vitor Arequipa*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Flores Mello, A. O. (2018). Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del puesto de salud Intiorko, Distrito de Ciudad Nueva, Departamento de Tacna-2017. *Veritas Et Scientia*, 877-889.
- Gaaver, K. E. (2012). Geotechnical properties of Egyptian Collapsible Soils. *Alexandria Engineering Journal*, 205-210.
- García Prado, F. E. (2005). *Análisis y diseño de estabilidad sísmica de taludes en suelos y rocas-caso curvas la Leona*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Gonzáles de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación España.
- Guillén Martínez, C. E. (2004). *Estabilidad de taludes en los departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, casos reales*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Gutierrez Tovar, A. C. (2016). *Control de los factores de seguridad y desplazamientos de las estructuras de contención de los taludes de excavación mediante el método de elementos finitos y teoría del equilibrio límite*. España: Universidad Industrial de Santander.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). México: Editorial Alfaomega Grupo Editor.
- Howayek, A. E., Huang, P. T., Bisnett, R., & Santagata, M. C. (2011). *Identification and Behavior of Collapsible Soils*. Indiana: Publication FHWA/IN/JTRP-2011/12. Joint

Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette.

Kalantari, B. (2013). Foundations on Collapsible Soils: a review. *Forensic Engineering*, 57-63.

Knodel, P. C. (1992). *Characteristics and Problems of Collapsible Soils*. Denver: Bureau of Reclamation.

Lambe, W. T., & Whitman, R. (1995). *Mecánica de Suelos*. México: Editorial Limusa.

Londoño Manrique, N., & Ardila Montiel, C. S. (2016). Comportamiento de parámetros geomecánicos en taludes compuestos por suelos expansivos. *14 th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for the Global Sustainability"*, 1-9.

Mantilla Lobatón, L. H. (2014). *Estudio experimental de cimentaciones sobre taludes reforzados con geomallas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Mendoza Loayza, J. A. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes de gran altura en la mina Antapaccay*. Lima: Universidad Católica del Perú.

Mohammed Y, F., Mudhafar K, H., & Mohammed F, A. (2017). Determination of Collapse Potencial of Gypseous Soil from Field and Laboratory Test. *Diyala Journal of Engineering*, 75-85.

Norma Técnica Peruana. (2006). *E.050 Suelos y Cimentaciones*. Lima: Diario El Peruano.

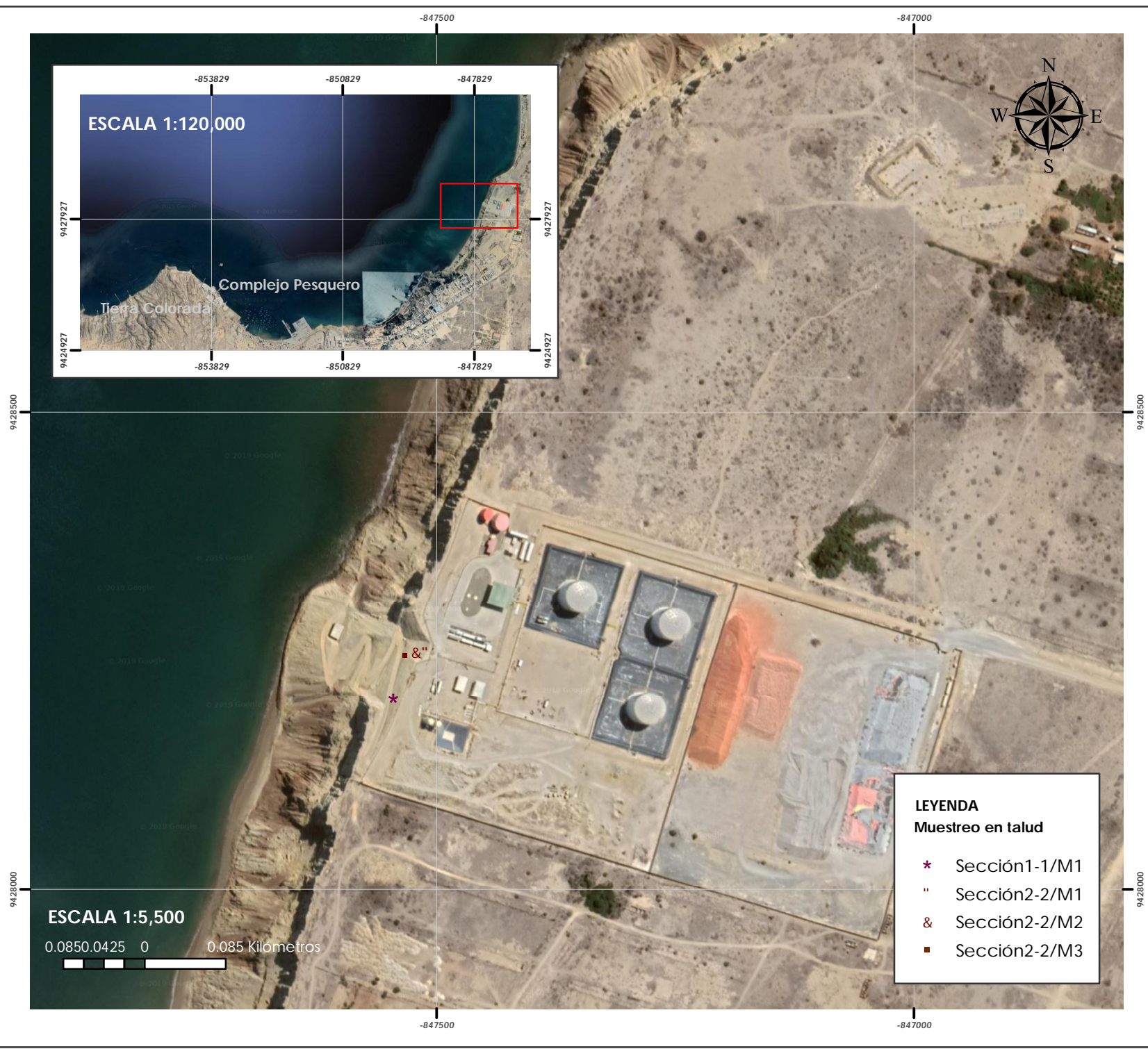
Qasim Abdulkarem, J. A.-O. (2014). *Hydro-Mechanical Behaviour of Collapsible Soils*. Germany: Ruhr-Universitat Bochum.

Quijano Arias, D. A., & Tenjo Ramos, E. A. (2018). *Análisis de efectividad en la estabilización de suelos colapsables en el tramo II de la transversal el bosque en el Municipio de Floridablanca, Santander*. Bogota: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Redolfi, E. R. (2007). *Suelos Colapsables*. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Sánchez, H., & Reyes, C. (2006). *Metodología y diseños en la investigación científica* (1a ed.). Lima: Editorial Visión Universitaria.
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zona Tropicales*. Colombia: Editorial Ingeniería de Suelos Ltda-Colombia.
- Torres Chung, C. R. (2007). *Valoración del riesgo en deslizamientos*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2003). *Slope Stability*. Whashington: Publication Manual N° 1110-2-1902. Departamnet of The Army.
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de taludes: Conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Revista Civilízate*, 50-54.
- Valladares Ibarra, P. D. (2015). *Estabilidad de taludes con anclas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Anexos

Anexo A: Mapa de exploración geotécnica





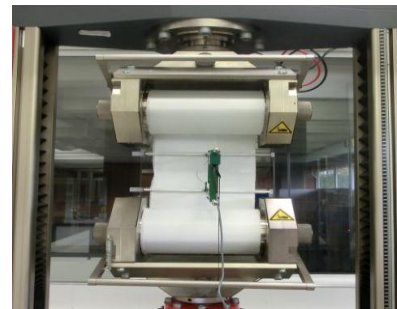
Universidad Peruana Unión
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Tesis:
Incidencia del grado de saturación de los suelos colapsables en la estabilidad de taludes del puerto de Paíta-Piura, en el año 2019.

Por	: Nancy Elizabeth Torres Rodriguez	Mapa: Exploración geotécnica EG
Asesor:	: Mg. Leonel Chahuares Paucar	
Ubicación:	: Puerto de Paíta-Piura	
Fecha:	: Octubre 2019	
Escala: Indicada		

Anexo B: Ficha técnica de geosintéticos

FORTEX® es un geotextil tejido con fibras del exclusivo **Multifilamento G5** de poliéster de Alta Tenacidad (**PET**)⁽¹⁾ caracterizado por presentar alto desempeño mecánico e hidráulico. Su estructura está definida por la técnica de inserción de trama, la cual le confiere la más rápida respuesta en tensión ante las deformaciones del suelo y estabilidad en el desempeño hidráulico en cualquier nivel de tensión o confinamiento. **FORTEX®** es ideal para el refuerzo de suelos de subrasante y capas granulares en pavimentos, terraplenes y estructuras de contención en suelo reforzado.



PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	DATOS MARV BX 90
Resistencia a la tensión, método Grab (MD)	ASTM D 4632	N	3465,0
Resistencia a la tensión, método Grab (TD)			3460,0
Resistencia al punzonamiento estático CBR	ASTM D 6241	N	10973,0
Resistencia al rasgado trapezoidal (MD)	ASTM D 4533	N	1215,0
Resistencia al rasgado trapezoidal (TD)			1140,0
Resistencia a la tensión, método Tira Ancha - (elongación ⁽⁴⁾) (MD)	ASTM D 4595	kN/m - (%)	108 (12,1)
Resistencia a la tensión, método Tira Ancha - (elongación ⁽⁴⁾) (TD)			108 (11,3)
Resistencia @ 2% elongación (MD/TD)		kN/m	20,7 / 20,1
Resistencia @ 5% elongación (MD/TD)			45,4 / 44,1
Resistencia disponible por deformación plástica a 114 años	ASTM D 5262/6992	kN/m	66,67

PROPIEDADES HIDRÁULICAS			
Tamaño de abertura aparente ⁽³⁾	ASTM D 4751	mm	0,425
Permeabilidad ⁽⁴⁾	ASTM D 4491	cm/s	0,270
Permitividad ⁽⁴⁾		s ⁻¹	2,21
Tasa de flujo ⁽⁴⁾		l/min/m²	2960

PRESENTACIÓN ROLLO			
Ancho ⁽⁵⁾ x largo	Medido	m	5,40 x 50
Área		m²	270

Observaciones

MARV: valores presentados, corresponden a valores mínimo promedio por rollo de ensayos estadísticos (en inglés **MARV** que representan el 97,7% de confianza en el comportamiento de las propiedades mecánicas; **MD:** Dirección de la máquina, a lo largo de los rollos.; **TD:** Dirección transversal al largo de los rollos.

(1) Poliéster de Alta Tenacidad (PET) de peso molecular mayor a 25000 g/mol y grupos carboxilos finales menores a 30, resistente a la degradación por rayos UV, biológicamente inerte y resistente a ácidos, álcalis y condiciones químicas presentes naturalmente en los suelos. **(2) N.A:** No Aplica. **(3)** Los valores corresponden a máximos por rollo. **(4)** Los valores corresponden a valores promedio de la producción. **(5)** El ancho puede variar en un rango de +/- 1% respecto al promedio referenciado. Los valores de esta hoja técnica son los vigentes a la fecha de la última revisión.

Los valores anteriores corresponden a la resistencia nominal del material **Tult**. Para efectos de diseño, se debe determinar la resistencia disponible **Tdisp** considerando la aplicación de factores de seguridad (reducción) que cuantifican la afectación del material por daños de instalación, daños por ataques químicos o biológicos y por fluencia mediante la ecuación (a) así:

$$T_{disp} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} * RF_D * RF_{ID}} \quad (a)$$

En la Tabla 1 se presentan los valores mínimos recomendados para los geotextiles FORTEX®.

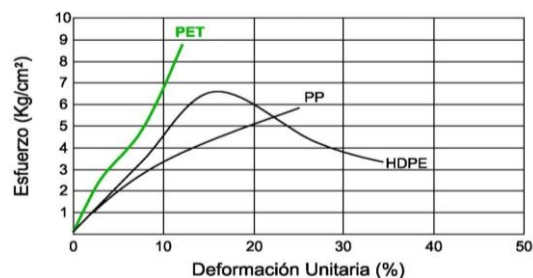
Tabla 1. Factores de reducción para **FORTEX®**

Nº	Factor de reducción	Valor
1	Factor de reducción por creep RF_{CR} (Según ASTM D 5262 / 6992)	
	@ 75 años	1.58
	@ 114 años	1.60
2	Factor de reducción por durabilidad RF_D (daños por ataques químicos ó bacteriológicos) ^(b)	3<pH<5 8<pH<9 1.30
		5<pH<8 1.15
3	Factor de reducción por daños durante la instalación RF_{ID} ^{(b) (c)}	Material tipo 1. Tamaño máx. 102 mm. D ₅₀ alrededor de 30 mm. 1.40 - 2.20
		Material tipo 2. Tamaño máx. 20 mm. D ₅₀ alrededor de 0,70 mm. 1.10 - 1.40

(b) De acuerdo con FHWA-NHI-00-43, según ensayos GRI GG7 – GRI GG8

(c) Los valores bajos del rango se asocian con materiales poco abrasivos colocados con equipo de construcción convencional, con presiones de inflado menores a 550 kPa (80 psi). Los valores altos del rango se asocian con materiales abrasivos provenientes de trituración.

⁽¹⁾El **Multifilamento G5** se fabrica con poliéster de Alta Tenacidad (PET) de peso molecular mayor a 25000 g/mol y grupos carboxilos finales menores a 30 con lo cual se garantiza su estabilidad química y mecánica a través del tiempo. El **Multifilamento G5** es resistente a la degradación por rayos UV, es biológicamente inerte y resistente a ácidos, álcalis y condiciones químicas presentes naturalmente en los suelos



PET: Poliéster de alta tenacidad PP: Polipropileno HDPE: Polietileno de alta densidad
Figura 1. Relación Resistencia a la tensión – Deformación. en fibras de la misma masa
(Tomado de Typical properties of fibers. Batson.)

La obtención del **Multifilamento G5** incluye una serie de procesos mediante los cuales se le confieren características mecánicas especiales entre las cuales se destacan la alta resistencia a la tensión y el alto módulo de deformación como se aprecia en la figura 1, además del bajo creep, flexibilidad, resistencia a la carga cíclica y resistencia a las altas temperaturas. Estas características, combinadas con la técnica de construcción por inserción de trama, dan como resultado un geotextil que hace un importante aporte mecánico a las estructuras que refuerza, con capacidad para controlar las deformaciones de los suelos a largo plazo.

Geomatrix fabrica sus productos bajo los lineamientos de un sistema de gestión integral, basado en las prácticas normativas de las normas **NTC-ISO 9001, NTC-ISO 14001 y NTC-OSHAS 18001** y las especificaciones **AASHTO M 288, ASTM D 4354 e I.N.V. E 908**. Los materiales son sometidos a inspección y ensayos en laboratorio bajo los criterios de la norma **NTC-ISO/IEC 17025** y cada una de las normas de ensayo relacionadas en cada requisito.

Para mayor información consultar el sitio web www.geomatrix.com.co



**ESPECIFICACIONES TECNICAS
MANTO DE CONTROL DE EROSION
ANDEX MCE-400C**



El manto de control de erosión ANDEX MCE-400C para uso técnico, está elaborado a máquina con fibras de coco 100% con una densidad de 400 gr/m² y redes e hilo de fibra de polipropileno fotodegradable con tratamiento anti UV. Las redes se ubican a ambos lados del manto (superior e inferior). Las dimensiones del rollo son: 2.4 m de ancho x 50 m de largo. La fabricación de los mantos cuenta con certificación ISO 9001:2000 e ISO 14001:2004.

PROPIEDAD INDICE	VALOR PROMEDIO ¹
<u>Mecánicas</u>	
Resistencia a la Tensión	1.74 kN/m
Resistencia a la Tensión, Tira Ancha	1.70 kN/m
Resistencia a la rotura	187 N
Resistencia a la rotura, Tira Ancha	141 N
Estiramiento de la fibra	4 %
Estiramiento de la fibra, Tira Ancha	4.16 %
<u>Físicas</u>	
Espesor	8.5 mm
Luz de la red (superior e inferior)	15 mm x 13 mm
Densidad de la red (superior e inferior)	7.4 gr/m ²
Distanciamiento entre costuras	5 cm
Densidad de la matriz orgánica	400 gr/m ²
Degradación media	3 a 4 años

1. Los valores de las propiedades listadas están sujetas a cambio sin previo aviso por el fabricante.

Usos:

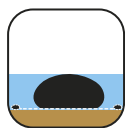
- Control de Erosión de Taludes.
- Protección de cortes y rellenos en carreteras y ferrovías.
- Remediación de áreas afectadas en zonas de explotación de recursos.
- Aplicaciones de Medio Ambiente.
- Revegetación de áreas críticas sujetas a erosión.



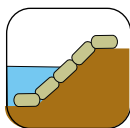
Geotextiles HYDROTEX IMPREGNADO



Tubos geotextil



Manto antisocavación



Protección de orillas de ríos.



El **HYDROTEX IMPREGNADO** es un geotextil tejido con fibras del exclusivo Multifilamento⁽¹⁾ G5 de Geomatrix sometido a un especial proceso de impregnación con un copolímero que le confiere alta rigidez, baja permeabilidad y durabilidad ante la intemperie. Su estructura de tejido plano le confiere una excelente respuesta en tensión ante las deformaciones del suelo y gran resistencia ante daños de instalación y durabilidad a la intemperie. El **HYDROTEX IMPREGNADO** es ideal para la conformación de estructuras hidráulicas y soluciones de protección de orillas contra erosión y socavación.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	DATOS TÍPICOS
Carga rotura- Método Grab (MD)	ASTM D 4632	N	5798
Carga rotura- Método Grab (TD)	ASTM D 4632	N	5951
Resistencia al rasgado trapezoidal (MD)	ASTM D 4533	N	856
Resistencia al rasgado trapezoidal (TD)	ASTM D 4533	N	894
Resistencia al punzonamiento estático CBR	ASTM D 6241	N	15955
Resistencia a la tensión - Método tira ancha (MD)	ASTM D 4595	KN/m	159
Resistencia a la tensión - Método tira ancha (TD)	ASTM D 4595	KN/m	162
Recubrimiento	Copolímero de alto desempeño resistente a la abrasión e intemperie.		
Resistencia a UV (% de retención a 500 horas)	ASTM D 4355	%	>80
PROPIEDADES HIDRÁULICAS			
Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	< 0,106
PRESENTACIÓN ROLLO			
Ancho ⁽²⁾ x largo	Medido	m	4,9x40
Área	Medido	m ²	196

Observaciones

TÍPICOS: valores presentados, corresponden a valores mínimo promedio por rollo de ensayos estadísticos de la producción en un periodo de tiempo estimado de análisis.

MD: Dirección de la máquina, a lo largo de los rollos.; **TD:** Dirección transversal al largo de los rollos. **(1)** Poliéster de Alta Tenacidad (PET) de peso molecular mayor a 25000 g/mol y grupos carboxilos finales menores a 30, resistente a la degradación por rayos UV, biológicamente inerte y resistente a ácidos, álcalis y condiciones químicas presentes naturalmente en los suelos. **(2)** El ancho puede variar en un rango de +/- 1% respecto al promedio referenciado. Los valores de esta hoja técnica son los vigentes a la fecha declarada en el documento y están sujetos a cambios por actualización a favor de la veracidad y mejora continua de sus productos derivado del comportamiento estadístico de la producción.

El multifilamento G5 se obtiene a través de una serie de procesos de tensionamiento y compresión que le confieren características mecánicas especiales entre las cuales se destacan la alta resistencia a la tensión y el alto módulo de deformación como se aprecia en la figura 1, además del bajo creep, flexibilidad, resistencia a la carga cíclica y resistencia a las altas temperatura. Estas características, combinadas con la técnica de construcción dan como resultado un geotextil que hace un importante aporte mecánico a las estructuras que refuerza, con capacidad para controlar las deformaciones de los suelos a largo plazo.

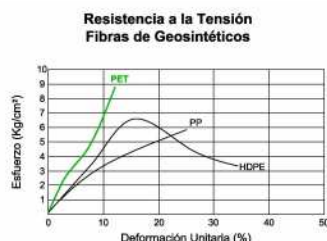


Figura 1. Relación resistencia a la tensión vs Deformación en fibras de la misma masa.

PET: Poliéster de alta tenacidad

PP: Polipropileno

HDPE: Polietileno de alta densidad

(Tomado de Typical properties of fibers. Batson.)

Geomatrix fabrica sus productos y comercializa con proveedores que tienen sus procesos bajo los lineamientos de un sistema de gestión integral, basado en las prácticas normativas de las normas **NTC-ISO 9001**, **NTC-ISO 14001** y **NTC-OSHAS 18001** y las especificaciones **ASHTO M 288**, **ASTM D 4354** y los lineamientos de supervivencia en FHWA NHI-07-092. Los materiales son sometidos a inspección y ensayos en nuestro laboratorio acreditado **GAI-LAP (ACREDITACIÓN GAI-LAP-75-13)** bajo los criterios de la norma **ISO/IEC 17025** y cada una de las normas de ensayos relacionadas en cada requisito. Para mayor información consultar el sitio web: www.geomatrix.com.co

TERRATRAC® TRM

TERRATRAC® TRM es un manto permanente diseñado para brindar protección inmediata contra la erosión, servir de soporte en el establecimiento y crecimiento de la vegetación y ser un refuerzo permanente para la vegetación madura. Se fabrica con fibras sintéticas de poliéster resistentes a la luz UV que conforman una matriz tridimensional porosa. **TERRATRAC® TRM** es empleado como protección contra la erosión en taludes y canales y no posee efectos adversos sobre el entorno, pues está conformado por materiales inertes.



PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	DATOS MARV TRM-15
Tipo de manto ⁽¹⁾			TRM
Penetración de luz	ASTM D 6567	%	38,9
Resiliencia nominal	ASTM D 6524	%	69,0
Espesor nominal	ASTM D-6525	mm	7,5

PROPIEDADES MECÁNICAS

Fuerza a la rotura - MD	ASTM D 6818	kN/m	9,9
Elongación a la rotura - MD ⁽²⁾		%	17,8
Estabilidad UV - Resistencia retenida despues de 500h	ASTM D-4355	%	80,0

PRESENTACIÓN DEL ROLLO

Color	Medido		Verde
Ancho ⁽³⁾ x Largo		m	2,55 x 50
Área		m ²	127,5

FUNCIÓN DEL MANTO

Control de erosión en taludes	
Revestimiento de canales	
Revegetalización	
Cara de muros y taludes de suelo reforzado	
Protección de suelos agrícolas.	

Observaciones

MARV: valores presentados, corresponden a valores minimo promedio por rollo de ensayos estadísticos (en ingles **MARV** que representan el 97,7% de confianza en el comportamiento de las propiedades mecánicas. **MD:** Dirección de la máquina, a lo largo de los rollos.

(1) TRM, siglas de Turf Reinforcement Mat, Manto permanente para refuerzo de vegetación y control de erosión. **(2)** Los valores corresponden a valores máximos promedio por rollo de ensayos estadísticos de la producción **(3)** El ancho puede variar +/- 1,5%.

Los valores de esta hoja técnica son los vigentes a la fecha declarada en este documento y estan sujetos a cambios por actualización frente a la veracidad y mejora continua de los productos de acuerdo al comportamiento estadístico de la producción.

Geomatrix fabrica sus productos bajo los lineamientos de un sistema de gestión integral, basado en las prácticas normativas de las normas **NTC-ISO 9001**, **NTC-ISO 14001** y **NTC-OSHAS 18001** y las especificaciones **AASHTO M 288**, **ASTM D 4354** y los lineamientos de supervivencia establecidos en FHWA NHI-07-092. Los materiales son sometidos a inspección y ensayos en laboratorio acreditado GAI LAP (**ACREDITACIÓN # GAI LAP 75-13**) bajo los criterios de la norma **ISO/IEC 17025** y cada una de las normas de ensayo relacionadas en cada requisito. Para mayor información consultar el sitio web www.geomatrix.com.co

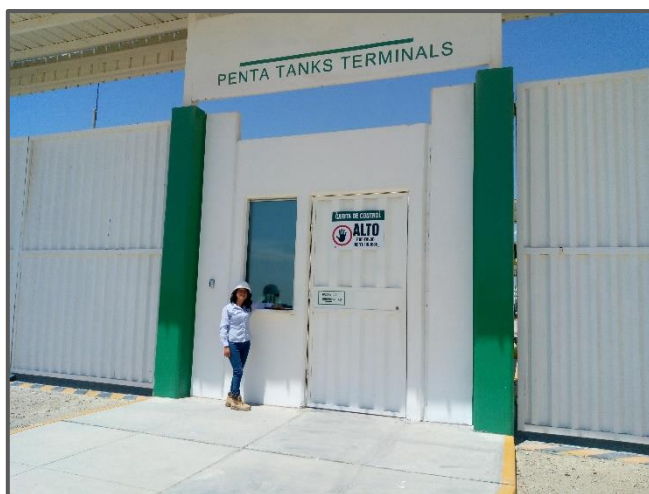
Análisis de Precios Unitarios

Partida Instalación de Mantos Permanentes HYDROTEX IMPREGNADO						
Rendimiento: m2/día		M.O	800	Equipo	800 Costo Unitario (US\$/M2)	4.40
Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Mano de Obra						
Capataz		h/h	0.10	0.0010	4.91	0.00
Operario		h/h	0.00	0.000	4.39	0.00
Peon		h/h	5.00	0.05	3.85	0.19
						0.197
Materiales						
Suministro de Manto HYDROTEX IMPREGNADO		m2		1.05	3.970	4.17
Elementos de Fijación Grapas		und/m2		0.062	0.42	0.026
						4.195
Equipos						
Herramientas manuales		%M.O		3	0.20	0.006
						0.006

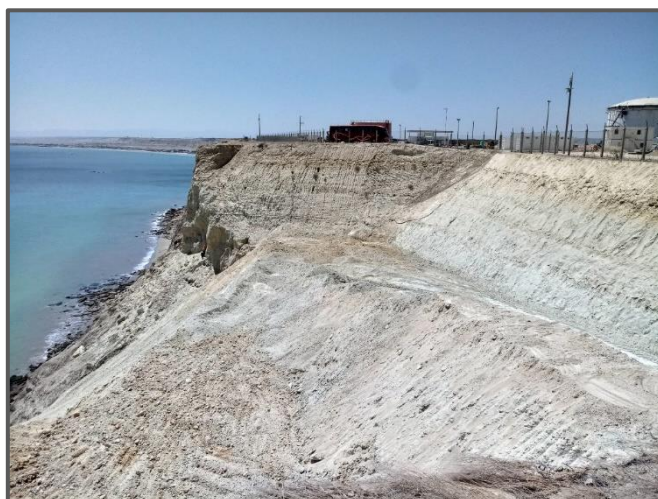
Análisis de Precios Unitarios

Partida		Instalación de Mantos Permanentes TRM 15					
Rendimiento	m2/día	M.O	1500	Equipo	1500	Costo Unitario (US\$/M2)	3.36
Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
Capataz		h/h	0.10	0.0005	4.91	0.00	
Operario		h/h	0.00	0.0000	4.39	0.00	
Peon		h/h	5.00	0.0267	3.85	0.10	
							0.105
Materiales							
Suministro de Mantos TRM 15		m2		1.05	3.061	3.21	
Suministro de cortaflujos		und/m2		0.044	0.269	0.01	
Elementos de Fijación Grapas		und/m2		0.062	0.420	0.03	
							3.252
Equipos							
Herramientas manuales		%M.O		3	0.105	0.00	
							0.003

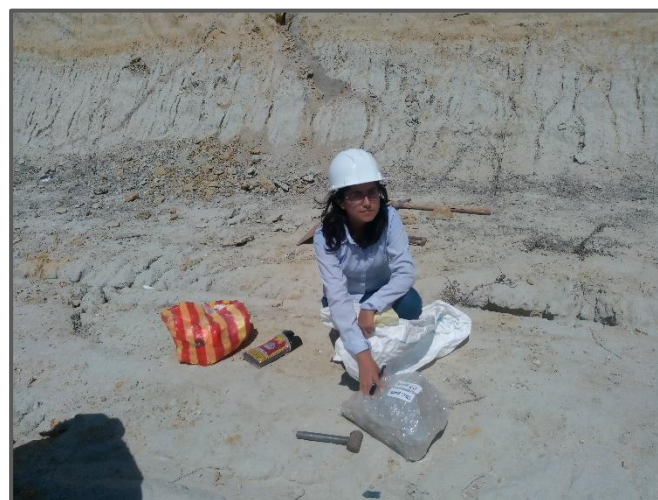
Anexo C: Panel fotográfico



Fotografía N° 3: Planta de almacenamiento de líquidos Penta Tanks-Paita



Fotografía N° 1: Vista talud frente a las costas de la planta Penta Tanks.



Fotografía N° 2: Recolección de bloques de muestra inalterada.



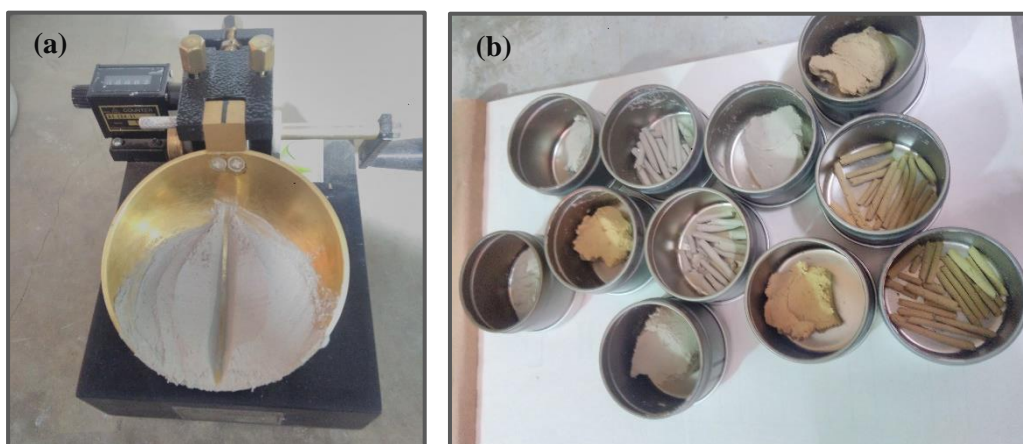
Fotografía N° 6: Muestreo de talud sección 1-1.



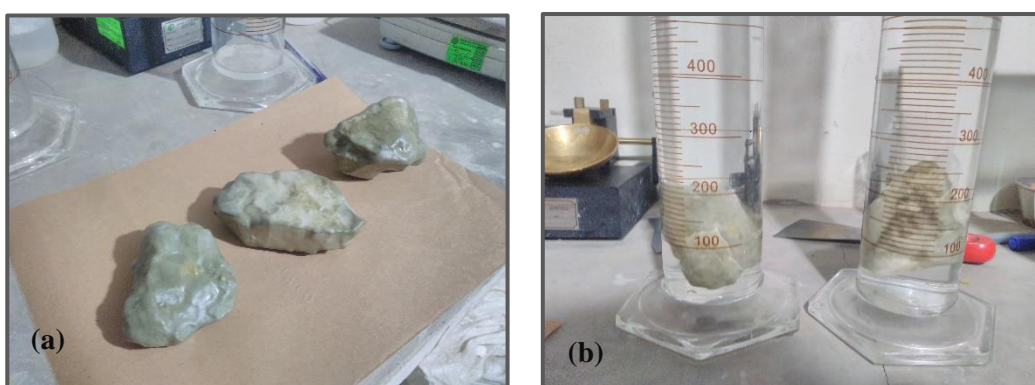
Fotografía N° 5: Muestra alterada para ensayos de clasificación



Fotografía N° 4: Ensayo de granulometría M-2/Sección 2-2



Fotografía N° 8: Ensayo de Límites de consistencia (a) Ensayo de límite líquido. (b) Taras para contenido de humedad retiradas del horno.



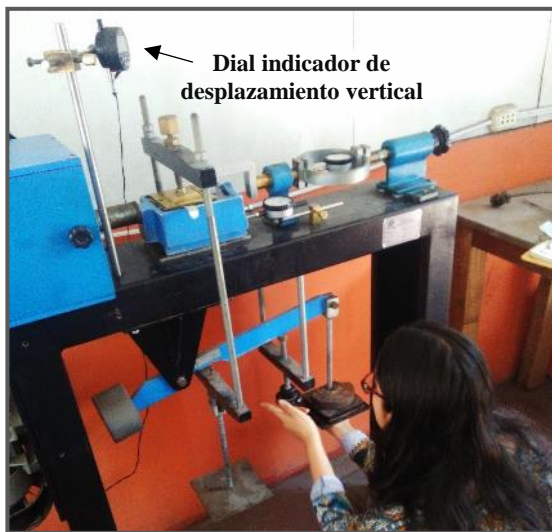
Fotografía N° 7: Ensayo de peso volumétrico (a) Muestras de suelo más parafina. (b) Probetas para medición de volumen.



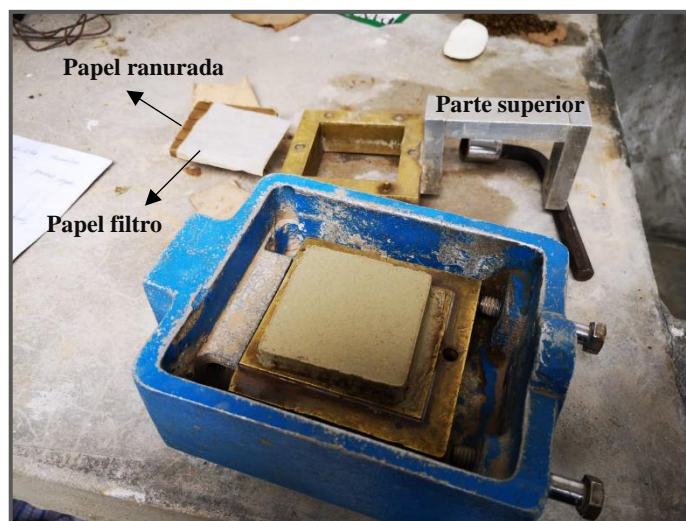
Fotografía N° 9: Ensayo de gravedad específica



Fotografía N° 12: (a) Celda para muestra remoldeada. (b) Preparación de la caja de corte



Fotografía N° 11: (a) Celda para muestra remoldeada. (b) Preparación de la caja de corte



Fotografía N° 10: Muestra después del ensayo de corte



Fotografía N° 15: (a) Vasos de precipitado con alicuota para determinación de contenido de sales.
(b) Cristalización de sales después de ser sometidos al hormo



Fotografía N   14: Ejecución de ensayo de contenido de sulfatos solubles



Fotografía N   13: A la izquierda centrifugadora para decantación de alicuota, a la derecha crisole más muestra de sulfatos.

Anexo D: Resultados de ensayos de laboratorio

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107-2000 / ASTM D-422

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME : 103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 1-1
 Muestra : M-1

FECHA DE EMISION : OCTUBRE 2019

Realizado : T.R.N.

Revisado : P.M.B.M.

Norma ASTM D-422	MALLA	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial retenido (gr)	Acumulado %	
					Retenido	Que pasa
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3	75.00				100.00
	2 "	50.00				100.00
	1 1/2 "	37.50				100.00
	1 "	25.00				100.00
	3/4 "	19.00				100.00
	3/8 "	9.50				100.00
	Nº 004	4.75				100.00
	Nº 010	2.00	0.30	0.06	0.06	99.94
	Nº 020	0.85	0.20	0.04	0.11	99.89
	Nº 040	0.43	0.60	0.13	0.23	99.77
	Nº 060	0.25	2.40	0.51	0.75	99.25
	Nº 100	0.15	14.70	3.14	3.89	96.11
	Nº 200	0.08	100.70	21.50	25.39	74.61

Norma ASTM D 2487

Clasificación (S.U.C.S.)

ML

Descripción:

LIMO ARENOSO

Norma AASTHO M-145

Clasificación (AASHTO)

A-4 (2)

Descripción:

Mediano a pobre

D10 (mm): NP

D30 (mm): NP

D60 (mm): NP

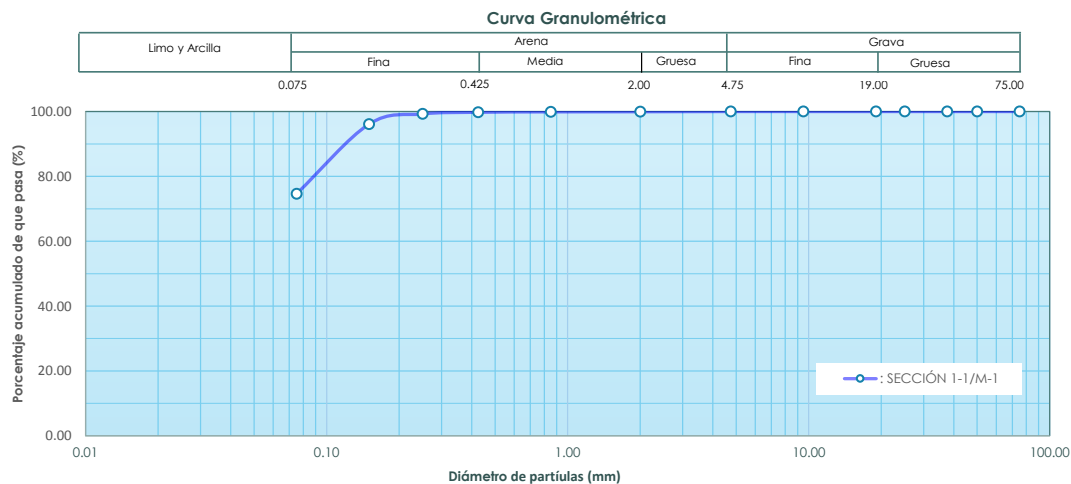
Cu: NP

Cc: NP

Norma ASTM D 2216

Nº del recipiente	:	P-110
Peso del recipiente (gr)	:	232.7
Peso del recip.+ suelo húmedo (gr)	:	715.9
Peso del recip.+ suelo seco (gr)	:	701
Peso del agua (gr)	:	14.9
Contenido de humedad (%)	:	3.18

% Grava	0.00	Gruesa	0.00
		Fina	0.00
% Arena	25.39	Gruesa	0.06
		Media	0.17
% Finos	74.61	Fina	25.15
		Finos	74.61



OBSERVACIÓN: El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107-2000 / ASTM D-422

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME : 103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 2-2
 Muestra : M-1

FECHA DE EMISION : OCTUBRE 2019

Realizado : T.R.N.

Revisado : P.M.B.M.

Norma ASTM D-422	MALLA	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial retenido (gr)	Acumulado %	
					Retenido	Que pasa
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3	75.00				100.00
	2 "	50.00				100.00
	1 1/2 "	37.50				100.00
	1 "	25.00				100.00
	3/4 "	19.00				100.00
	3/8 "	9.50				100.00
	N° 004	4.75				100.00
	N° 010	2.00	0.20	0.04	0.04	99.96
	N° 020	0.85	1.30	0.27	0.31	99.69
	N° 040	0.43	1.30	0.27	0.59	99.41
	N° 060	0.25	1.40	0.29	0.88	99.12
	N° 100	0.15	2.10	0.44	1.32	98.68
	N° 200	0.08	53.90	11.26	12.58	87.42

Norma ASTM D 2487

Clasificación (S.U.C.S.)

ML

Descripción:

LIMO ARENOSO

Norma AASTHO M-145

Clasificación (AASHTO)

A-4 (1)

Descripción:

Mediano a pobre

D10 (mm): NP

D30 (mm): NP

D60 (mm): NP

Cu: NP

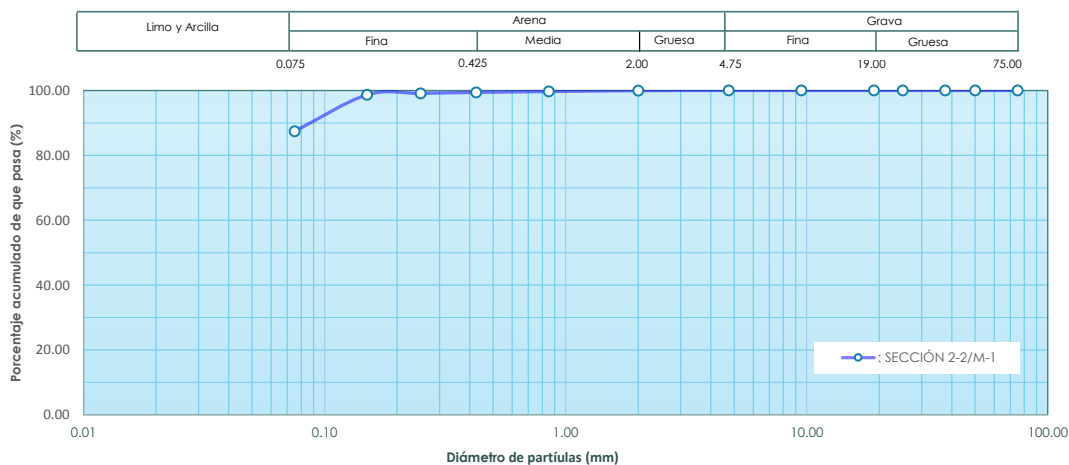
Cc: NP

% Grava	0.00	Gruesa	0.00
		Fina	0.00
% Arena	12.58	Gruesa	0.04
		Media	0.54
		Fina	11.99
% Finos	87.42	Finos	87.42

Norma ASTM D 2216

N° del recipiente	: s-36
Peso del recipiente (gr)	: 183.3
Peso del recip.+ suelo húmedo (gr)	: 661.9
Peso del recip.+ suelo seco (gr)	: 637
Peso del agua (gr)	: 24.9
Contenido de humedad (%)	: 5.49

Curva Granulométrica



OBSERVACIÓN: El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107-2000 / ASTM D-422

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME : 103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 2-2
 Muestra : M-2

FECHA DE EMISION : OCTUBRE 2019

Realizado : T.R.N.

Revisado : P.M.B.M.

Norma ASTM D-422	MALLA	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial retenido (gr)	Acumulado %	
					Retenido	Que pasa
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3	75.00				100.00
	2 "	50.00				100.00
	1 1/2 "	37.50				100.00
	1 "	25.00				100.00
	3/4 "	19.00				100.00
	3/8 "	9.50				100.00
	N° 004	4.75	5.50	1.02	1.02	98.98
	N° 010	2.00	23.10	4.28	5.30	94.70
	N° 020	0.85	42.40	7.86	13.16	86.84
	N° 040	0.43	30.10	5.58	18.74	81.26
	N° 060	0.25	18.60	3.45	22.19	77.81
	N° 100	0.15	25.70	4.76	26.96	73.04
	N° 200	0.08	56.80	10.53	37.49	62.51

Norma ASTM D 2487

Clasificación (S.U.C.S.) **ML**

Descripción:

LIMO ARENOSO

Norma AASTHO M-145

Clasificación (AASHTO) **A-4 (0)**

Descripción: **Mediano a pobre**

D10 (mm): NP

D30 (mm): NP

D60 (mm): NP

Cu: NP

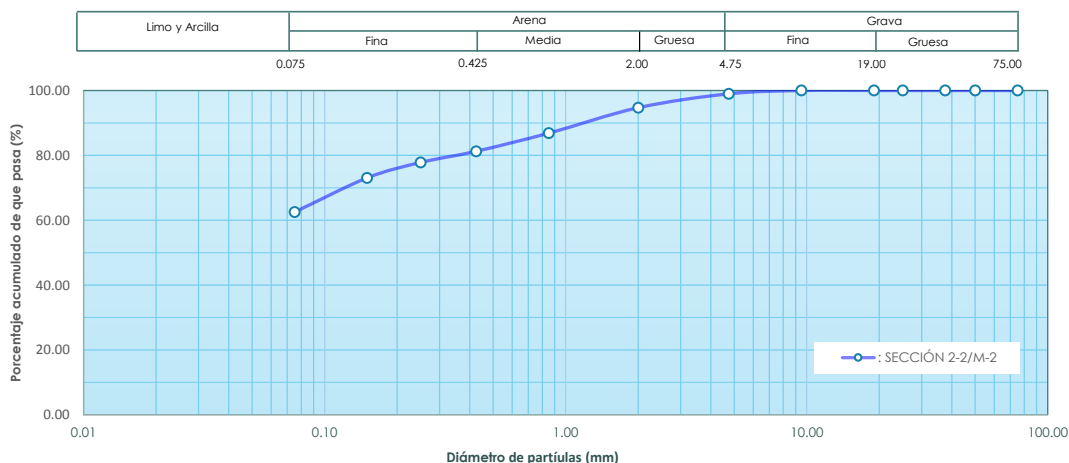
Cc: NP

Norma ASTM D 2216

N° del recipiente	:	S-20
Peso del recipiente (gr)	:	211.4
Peso del recip.+ suelo húmedo (gr)	:	750.8
Peso del recip.+ suelo seco (gr)	:	729
Peso del agua (gr)	:	21.8
Contenido de humedad (%)	:	4.21

% Grava	1.02	Gruesa	0.00
		Fina	1.02
% Arena	36.47	Gruesa	4.28
		Media	13.44
		Fina	18.74
% Finos	62.51	Finos	62.51

Curva Granulométrica



OBSERVACIÓN: El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107-2000 / ASTM D-422

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME : 103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 2-2
 Muestra : M-3

FECHA DE EMISION : OCTUBRE 2019

Realizado : T.R.N.

Revisado : P.M.B.M.

Norma ASTM D-422	MALLA	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial retenido (gr)	Acumulado %	
					Retenido	Que pasa
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3	75.00				100.00
	2 "	50.00				100.00
	1 1/2 "	37.50				100.00
	1 "	25.00				100.00
	3/4 "	19.00				100.00
	3/8 "	9.50				100.00
	N° 004	4.75	2.20	0.48	0.48	99.52
	N° 010	2.00	3.20	0.70	1.18	98.82
	N° 020	0.85	1.50	0.33	1.51	98.49
	N° 040	0.43	0.80	0.17	1.68	98.32
	N° 060	0.25	1.30	0.28	1.97	98.03
	N° 100	0.15	2.70	0.59	2.56	97.44
	N° 200	0.08	19.33	4.22	6.78	93.22

Norma ASTM D 2487

Clasificación (S.U.C.S.)

CL

Descripción:

ARCILLA LIGERA ARENOSA

Norma AASTHO M-145

Clasificación (AASHTO)

A-4 (7)

Descripción:

Mediano a pobre

D10 (mm): NP

D30 (mm): NP

D60 (mm): NP

Cu: NP

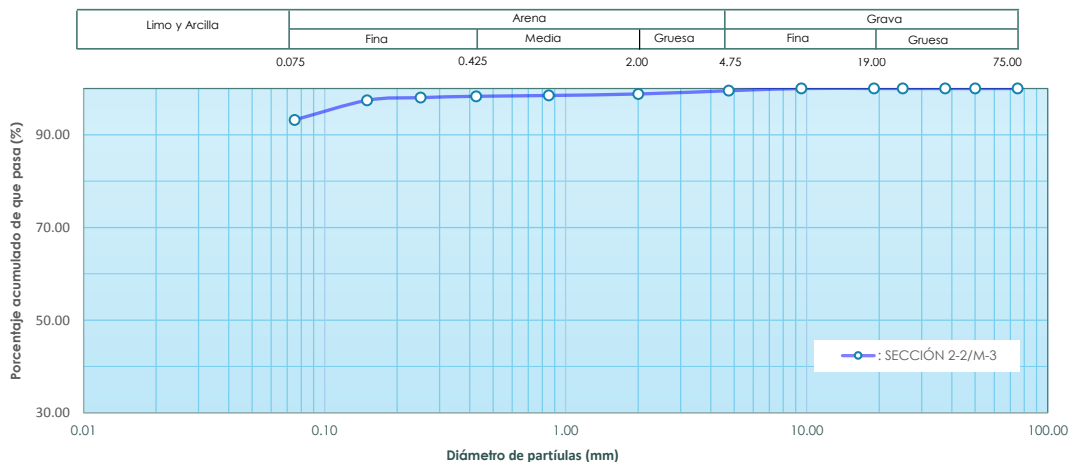
Cc: NP

Norma ASTM D 2216

N° del recipiente	:	P-13
Peso del recipiente (gr)	:	241.7
Peso del recip.+ suelo húmedo (gr)	:	699.4
Peso del recip.+ suelo seco (gr)	:	690
Peso del agua (gr)	:	9.4
Contenido de humedad (%)	:	2.1

% Grava	0.48	Gruesa	0.00
		Fina	0.48
% Arena	6.30	Gruesa	0.70
		Media	0.50
		Fina	5.10
% Finos	93.22	Finos	93.22

Curva Granulométrica



OBSERVACIÓN: El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME :103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

Página :1/1
 Realizado : T.R.N.
 Revisado : P.M.B.M.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 1-1
 Muestra : M-1

FECHA DE EMISIÓN: OCTUBRE 2019

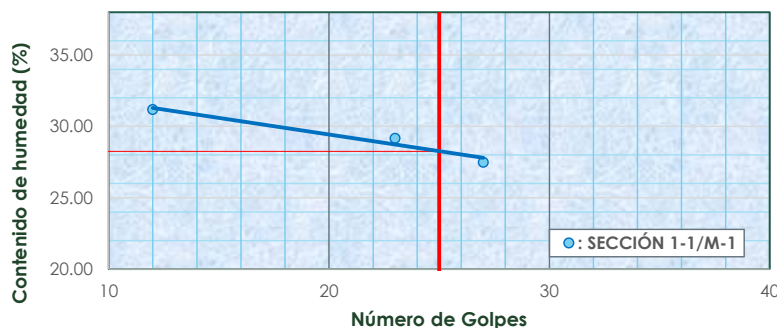
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite líquido				
N° de tara	A-01	A-05	A-09		
N° de Golpes	27	23	12		
Peso de tara (gr)	12.13	10.1	10.1		
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	38.2	38.18	35.26		
Peso tara + suelo seco (gr)	32.58	31.84	29.28		
Contenido de humedad (%)	27.48	29.16	31.18		
Límite Líquido (%)	28.25				

LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite plástico				
Número de tara	A-10	A-12			
Peso de tara (gr)	11.33	10.4			
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	15.52	14.38			
Peso tara + suelo seco (gr)	14.7	13.6			
Contenido de humedad (%)	24.33	24.38			
Limite Plástico (%)	24.35				

Diagrama de Fluidez



OBSERVACIÓN:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME : 103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

Página : 1/1
 Realizado : T.R.N.
 Revisado : P.M.B.M.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 2-2
 Muestra : M-1

FECHA DE EMISION : OCTUBRE 2019

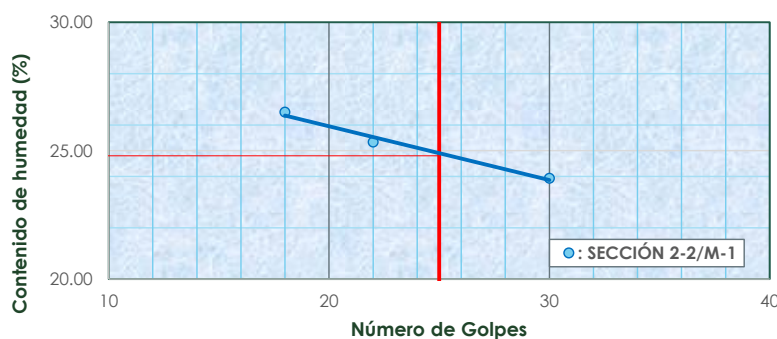
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite líquido				
N° de tara	M-03	M-07	M-11		
N° de Golpes	18	22	30		
Peso de tara (gr)	10.64	10.64	10.64		
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	32.17	31.17	32.45		
Peso tara + suelo seco (gr)	27.66	27.02	28.24		
Contenido de humedad (%)	26.50	25.34	23.92		
Límite Líquido (%)	24.8				

LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite plástico				
Número de tara	M-09	M-08			
Peso de tara (gr)	11.07	9.36			
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	14.71	13.25			
Peso tara + suelo seco (gr)	14.02	12.532			
Contenido de humedad (%)	23.39	22.64			
Límite Plástico (%)	23.01				

Diagrama de Fluidez



W= 5.49 %
 LL= 24.80 %
 LP= 23.01 %
 IP= 1.79 %
 IL= -9.80

OBSERVACIÓN:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME :103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

Página :1/1
 Realizado : T.R.N.
 Revisado : P.M.B.M.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 2-2
 Muestra : M-2

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110-2000/ASTM D-4318

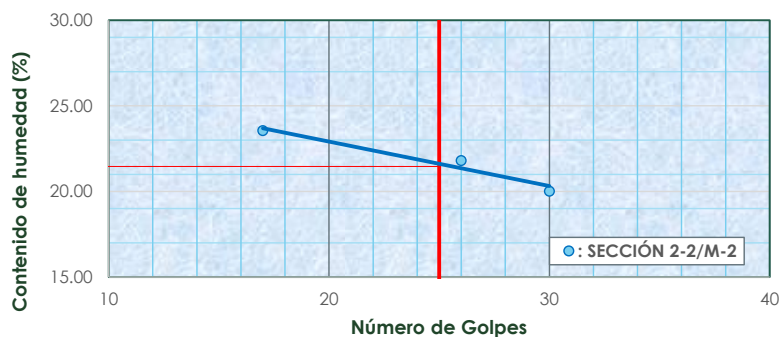
Límites de consistencia	Límite líquido				
N° de tara	A-04	A-12	A-22		
N° de Golpes	30	26	17		
Peso de tara (gr)	11.06	11.06	11.06		
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	38.71	38.71	38.71		
Peso tara + suelo seco (gr)	34.1	33.76	33.439		
Contenido de humedad (%)	20.01	21.81	23.55		
Límite Líquido (%)	21.46				

LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite plástico				
Número de tara	A-16	A-15			
Peso de tara (gr)	10.28	10.11			
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	15.16	15.38			
Peso tara + suelo seco (gr)	14.4002	14.5			
Contenido de humedad (%)	18.44	20.05			
Limite Plástico (%)	19.24				

Diagrama de Fluidez



OBSERVACIÓN:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
 N° DE ARCHIVO : 103
 INFORME : 103
 SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
 DIRECCION : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
 UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA-PIURA

Página : 1/1
 Realizado : T.R.N.
 Revisado : .P.M.B.M.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata : SECCIÓN 2-2
 Muestra : M-3

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

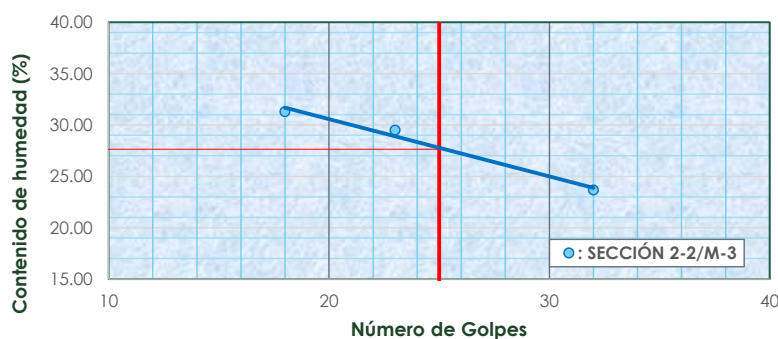
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite líquido			
N° de tara	A-14	A-25	A-16	
N° de Golpes	18	32	23	
Peso de tara (gr)	11.06	11.06	11.06	
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	38.71	38.71	38.71	
Peso tara + suelo seco (gr)	32.12	33.42	32.41	
Contenido de humedad (%)	31.29	23.66	29.51	
Límite Líquido (%)	27.64			

LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111-2000/ASTM D-4318

Límites de consistencia	Límite plástico			
Número de tara	A-34	A-31		
Peso de tara (gr)	10.28	10.11		
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	15.16	15.38		
Peso tara + suelo seco (gr)	14.4002	14.5		
Contenido de humedad (%)	18.44	20.05		
Limite Plástico (%)	19.24			

Diagrama de Fluidez



W= 2.10 %
 LL= 27.64 %
 LP= 19.24 %
 IP= 8.40 %
 IL= -2.04

OBSERVACIÓN:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

PESO VOLUMÉTRICO
 ASTM D2937

INFORME : 103
SOLICITADO : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
PUNTO : SECCIÓN 1-1
MUESTRA : M-1
PROFUNDIDAD : SUP.

PAGINA : 1
REALIZADO : T.R.N.
REVISADO : P.M.B.M.

FECHA EMISIÓN : OCTUBRE 2019

PESO VOLUMETRIC

DESCRIPCION	1	2	3
Profundidad (m.)	SUP	SUP	SUP
Peso de muestra natural (g)	80.02	125.26	118.66
Peso de muestra + parafina (g)	83.55	130.70	122.23
Peso de parafina (g)	3.53	5.44	3.57
Densidad de parafina (g/cm3)	0.88	0.88	0.88
Volumen de parafina (cm3)	4.01	6.18	4.06
volumen de inicial de probeta (g)	500.00	500.00	500.00
volumen final de probeta (g)	556.00	588.00	580.00
Volumen de muestra+parafina (cm3)	56.00	88.00	80.00
Volumen de muestra (cm3)	51.99	81.82	75.94
Peso volumétrico natural (g/cm3)	1.539	1.531	1.562
Peso volumétrico promedio (g/cm3)	1.544		
Peso volumétrico seco (g/cm3)	1.497		

HUMEDAD

DESCRIPCION	RESULTADOS
Peso de tara (g)	232.1
Peso muestra humeda mas tara (g)	715.9
Peso muestra seca mas tara (g)	701
Humedad natural (%)	3.18

OBSERVACION :

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

PESO VOLUMÉTRICO
 ASTM D2937

INFORME : 103
SOLICITADO : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
PUNTO : SECCIÓN 2-2
MUESTRA : M-1
PROFUNDIDAD : SUP.

PAGINA : 1
REALIZADO : T.R.N.
REVISADO : P.M.B.M.

FECHA EMISIÓN : OCTUBRE 2019

PESO VOLUMETRIC

DESCRIPCION	1	2	3
Profundidad (m.)	SUP	SUP	SUP
Peso de muestra natural (g)	80.02	125.26	118.66
Peso de muestra + parafina (g)	83.55	130.70	122.23
Peso de parafina (g)	3.53	5.44	3.57
Densidad de parafina (g/cm3)	0.88	0.88	0.88
Volumen de parafina (cm3)	4.01	6.18	4.06
volumen de inicial de probeta (g)	500.00	500.00	500.00
volumen final de probeta (g)	565.00	600.00	593.00
Volumen de muestra+parafina (cm3)	65.00	100.00	93.00
Volumen de muestra (cm3)	60.99	93.82	88.94
Peso volumétrico natural (g/cm3)	1.312	1.335	1.334
Peso vouométrico promedio (g/cm3)	1.327		
Peso volumétrico seco (g/cm3)	1.258		

HUMEDAD

DESCRIPCION	RESULTADOS
Peso de tara (g)	183.3
Peso muestra humeda mas tara (g)	661.9
Peso muestra seca mas tara (g)	637
Humedad natural (%)	5.49

OBSERVACION :

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

PESO VOLUMÉTRICO
 ASTM D2937

INFORME : 103
SOLICITADO : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
PUNTO : SECCIÓN 2-2
MUESTRA : M-2
PROFUNDIDAD : SUP.

PAGINA : 1
REALIZADO : T.R.M.
REVISADO : P.M.B.M.

FECHA EMISIÓN : OCTUBRE 2019

PESO VOLUMETRIC

DESCRIPCION	1	2	3
Profundidad (m.)	SUP	SUP	SUP
Peso de muestra natural (g)	110.02	95.24	88.66
Peso de muestra + parafina (g)	113.55	100.68	92.23
Peso de parafina (g)	3.53	5.44	3.57
Densidad de parafina (g/cm3)	0.88	0.88	0.88
Volumen de parafina (cm3)	4.01	6.18	4.06
volumen de inicial de probeta (g)	500.00	500.00	500.00
volumen final de probeta (g)	590.00	580.00	575.00
Volumen de muestra+parafina (cm3)	90.00	80.00	75.00
Volumen de muestra (cm3)	85.99	73.82	70.94
Peso volumétrico natural (g/cm3)	1.279	1.290	1.250
Peso volumétrico promedio (g/cm3)	1.273		
Peso volumétrico seco (g/cm3)	1.222		

HUMEDAD

DESCRIPCION	RESULTADOS
Peso de tara (g)	211.4
Peso muestra humeda mas tara (g)	750.8
Peso muestra seca mas tara (g)	729
Humedad natural (%)	4.21

OBSERVACION :

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

PESO VOLUMÉTRICO
 ASTM D2937

INFORME : 103
SOLICITADO : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
PUNTO : SECCIÓN 2-2
MUESTRA : M-3
PROFUNDIDAD : SUP.

PAGINA : 1
REALIZADO : T.R.N.
REVISADO : P.M.B.M.

FECHA EMISIÓN : OCTUBRE 2019

PESO VOLUMETRICO

DESCRIPCION	1	2	3
Profundidad (m.)	SUP	SUP	SUP
Peso de muestra natural (g)	120.02	105.24	98.66
Peso de muestra + parafina (g)	123.55	110.68	102.23
Peso de parafina (g)	3.53	5.44	3.57
Densidad de parafina (g/cm3)	0.88	0.88	0.88
Volumen de parafina (cm3)	4.01	6.18	4.06
volumen de inicial de probeta (g)	500.00	500.00	500.00
volumen final de probeta (g)	585.00	576.00	571.00
Volumen de muestra+parafina (cm3)	85.00	76.00	71.00
Volumen de muestra (cm3)	80.99	69.82	66.94
Peso volumétrico natural (g/cm3)	1.482	1.507	1.474
Peso volumétrico promedio (g/cm3)	1.488		
Peso volumétrico seco (g/cm3)	1.457		

HUMEDAD

DESCRIPCION	RESULTADOS
Peso de tara (g)	241.7
Peso muestra humeda mas tara (g)	699.4
Peso muestra seca mas tara (g)	690
Humedad natural (%)	2.10

OBSERVACION :

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO
ASTM C-128

INFORME	: LG-103-2013	PAGINA	1
SOLICITADO	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	REALIZADO	T.R.N.
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	REVISADO	C.A.M.M.
PROYECTO	TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS : COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA- PIURA, EN EL AÑO 2019."		
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA		
PUNTO	: SECCIÓN 2-2		
MUESTRA	: M3	FECHA EMISIÓN	: OCTUBRE 2019
PROFUNDIDAD	: SUP.		

N° del Tara	P-1	P-2		PROMEDIO
Peso Picnometro (g)	179.10	145.50		
Peso del Picnometro lleno de Agua (g)	676.40	642.50		
Peso Tara (g)	237.10	237.10		
Peso Tara + Muestra Seca (g)	737.10	737.10		
Peso en el Aire de la Muestra Saturada Superficialmente Seca (g)	500.00	500.00		
Peso del Picnometro con muestra y agua (g)	769.50	736.20		
Peso en el Aire de la Muestra Seca (g)	150.00	150.00		
Gravedad Especifica Aparente	2.64	2.66		2.65
Gravedad Especifica Bulk	0.37	0.37		0.37
Absorción (%)				

OBSERVACIONES : La muestra ensayada de 2kg en estado alterado, suelto y numeada a temperatura ambiente ha sido proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Sección 1-1
MUESTRA : M-1
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.11	2.12	2.11	2.12	2.12
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g)	(g/cm ³)	1.54	1.62	1.54	1.62	1.54	1.62
Densidad Seca (g _d)	(g/cm ³)	1.50	1.58	1.50	1.58	1.50	1.58
Humedad (w)	(%)	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
Relacion de Vacios (e)		0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Grado de Saturación (S)	(%)	9.25	26.57	9.25	26.48	9.25	26.39
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.13	0.25	0.05	0.14	0.14	0.05	0.15	0.10
0.10	0.20	0.41	0.10	0.20	0.20	0.10	0.20	0.14
0.20	0.22	0.45	0.20	0.24	0.24	0.20	0.26	0.17
0.35	0.30	0.60	0.35	0.33	0.33	0.35	0.35	0.23
0.50	0.34	0.68	0.50	0.38	0.38	0.50	0.43	0.29
0.75	0.40	0.80	0.75	0.49	0.49	0.75	0.57	0.38
1.00	0.45	0.90	1.00	0.57	0.57	1.00	0.69	0.46
1.25	0.49	0.97	1.25	0.65	0.65	1.25	0.81	0.54
1.50	0.53	1.05	1.50	0.71	0.71	1.50	0.90	0.60
1.75	0.55	1.09	1.75	0.76	0.76	1.75	0.98	0.66
2.00	0.56	1.13	2.00	0.81	0.81	2.00	1.06	0.71
2.50	0.59	1.19	2.50	0.91	0.91	2.50	1.22	0.81
3.00	0.60	1.21	3.00	0.96	0.96	3.00	1.33	0.88
3.50	0.64	1.29	3.50	1.02	1.02	3.50	1.40	0.94
4.00	0.66	1.32	4.00	1.07	1.07	4.00	1.48	0.99
4.50	0.68	1.36	4.50	1.11	1.11	4.50	1.54	1.03
5.00	0.70	1.40	5.00	1.15	1.15	5.00	1.60	1.07
6.00	0.71	1.42	6.00	1.20	1.20	6.00	1.69	1.12
7.00	0.72	1.44	7.00	1.22	1.22	7.00	1.72	1.14
8.00	0.72	1.44	8.00	1.20	1.20	8.00	1.69	1.12
9.00	0.69	1.38	9.00	1.16	1.16	9.00	1.64	1.09
10.00	0.65	1.31	10.00	1.12	1.12	10.00	1.58	1.05
11.00	0.64	1.29	11.00	1.09	1.09	11.00	1.54	1.03
12.00	0.63	1.27	12.00	1.07	1.07	12.00	1.51	1.01
13.00	0.62	1.25	13.00	1.06	1.06	13.00	1.49	0.99
14.00	0.62	1.25	14.00	1.04	1.04	14.00	1.45	0.97
15.00	0.61	1.23	15.00	1.03	1.03	15.00	1.44	0.96
16.00	0.61	1.23	16.00	1.03	1.03	16.00	1.44	0.96
17.00	0.61	1.23	17.00	1.02	1.02	17.00	1.43	0.96
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

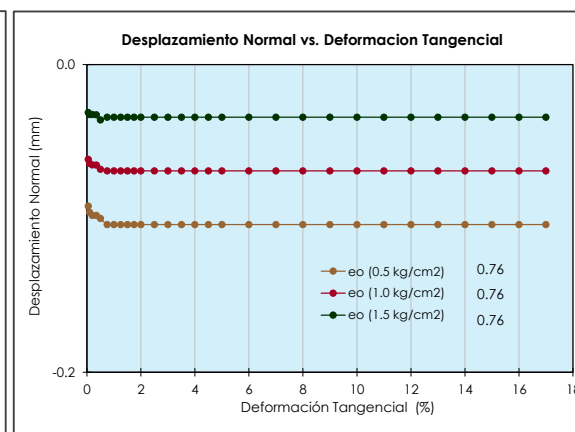
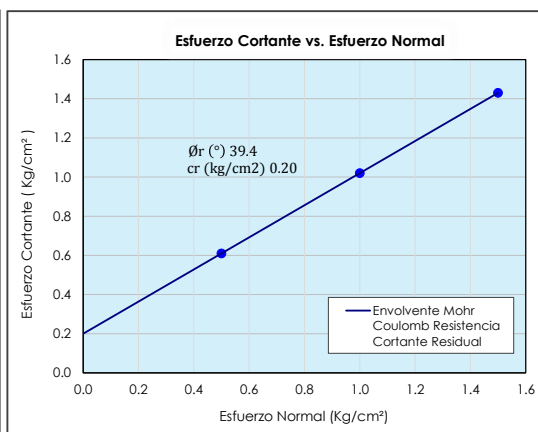
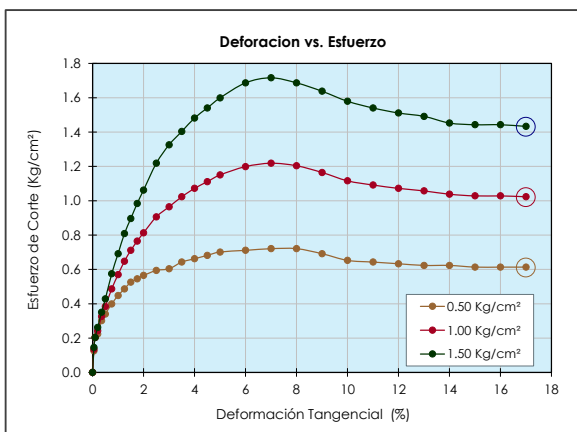
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	CONDICION DE HUMEDAD	: NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA	CLASIFICACION SUCS	: ML
		FECHA DE EMISIÓN	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia máxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : TC-103103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Seccion 2-2
MUESTRA : M-1
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.09	2.12	2.07	2.12	2.06
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g _t)	(g/cm ³)	1.42	1.55	1.42	1.61	1.42	1.66
Densidad Seca (g _d)	(g/cm ³)	1.26	1.37	1.26	1.50	1.26	1.62
Humedad (w)	(%)	12.90	12.90	12.90	7.39	12.90	2.66
Relacion de Vacios (e)		1.11	1.08	1.11	1.06	1.11	1.05
Grado de Saturación (S)	(%)	30.77	52.84	30.77	62.61	30.77	72.64
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.15	0.29	0.05	0.15	0.15	0.05	0.15	0.10
0.10	0.18	0.37	0.10	0.19	0.19	0.10	0.19	0.13
0.20	0.21	0.43	0.20	0.23	0.23	0.20	0.24	0.16
0.35	0.25	0.51	0.35	0.24	0.24	0.35	0.23	0.16
0.50	0.29	0.58	0.50	0.36	0.36	0.50	0.42	0.28
0.75	0.34	0.68	0.75	0.46	0.46	0.75	0.57	0.38
1.00	0.37	0.74	1.00	0.53	0.53	1.00	0.69	0.46
1.25	0.40	0.80	1.25	0.60	0.60	1.25	0.81	0.54
1.50	0.42	0.84	1.50	0.66	0.66	1.50	0.90	0.60
1.75	0.44	0.88	1.75	0.72	0.72	1.75	0.99	0.66
2.00	0.46	0.91	2.00	0.76	0.76	2.00	1.07	0.71
2.50	0.50	0.99	2.50	0.86	0.86	2.50	1.23	0.82
3.00	0.53	1.05	3.00	0.92	0.92	3.00	1.32	0.88
3.50	0.54	1.07	3.50	0.95	0.95	3.50	1.37	0.92
4.00	0.55	1.09	4.00	0.98	0.98	4.00	1.42	0.95
4.50	0.55	1.09	4.50	0.99	0.99	4.50	1.43	0.96
5.00	0.56	1.11	5.00	0.98	0.98	5.00	1.41	0.94
6.00	0.56	1.13	6.00	0.99	0.99	6.00	1.41	0.94
7.00	0.56	1.13	7.00	0.98	0.98	7.00	1.40	0.94
8.00	0.56	1.13	8.00	0.99	0.99	8.00	1.41	0.94
9.00	0.56	1.13	9.00	1.00	1.00	9.00	1.43	0.96
10.00	0.56	1.13	10.00	0.99	0.99	10.00	1.42	0.95
11.00	0.56	1.13	11.00	0.96	0.96	11.00	1.35	0.90
12.00	0.56	1.13	12.00	0.96	0.96	12.00	1.35	0.90
13.00	0.56	1.13	13.00	0.95	0.95	13.00	1.35	0.90
14.00	0.56	1.13	14.00	0.95	0.95	14.00	1.33	0.88
15.00	0.56	1.13	15.00	0.94	0.94	15.00	1.32	0.88
16.00	0.56	1.13	16.00	0.95	0.95	16.00	1.33	0.88
17.00	0.56	1.13	17.00	0.95	0.95	17.00	1.33	0.88
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

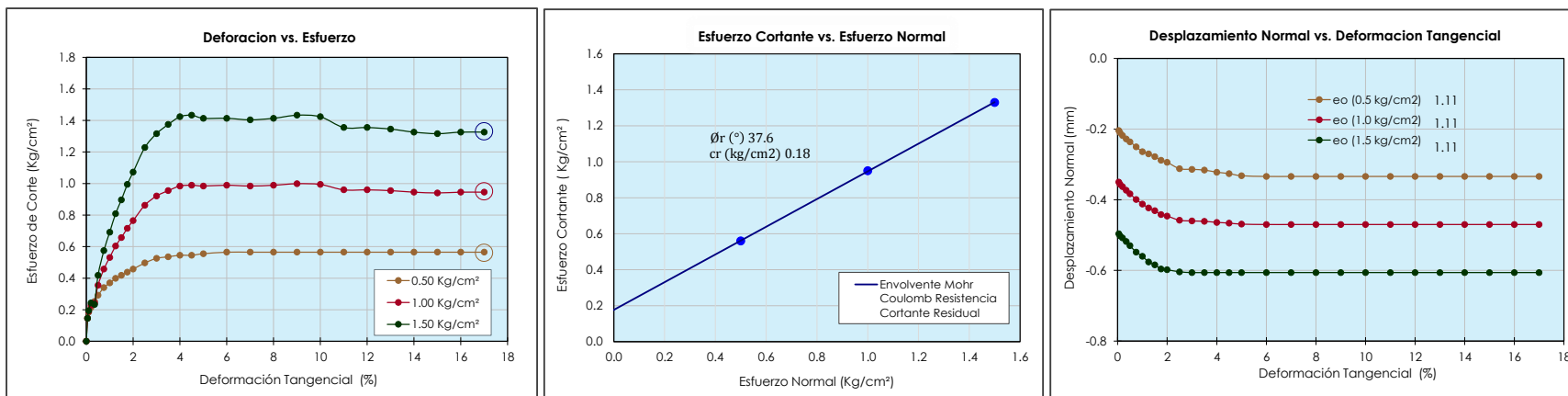
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NIP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	CONDICION DE HUMEDAD	: NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA	CLASIFICACION SUCS	: ML
		FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , angulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p angulo de fricción interna y cohesión de resistencia maxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Seccion 2-2
MUESTRA : M-2
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.11	2.12	2.10	2.12	2.10
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g _d)	(g/cm ³)	1.37	1.45	1.37	1.45	1.37	1.46
Densidad Seca (g _s)	(g/cm ³)	1.22	1.29	1.22	1.29	1.22	1.30
Humedad (w)	(%)	12.16	12.16	12.16	12.16	12.16	12.16
Relacion de Vacios (e)		1.17	1.16	1.17	1.15	1.17	1.14
Grado de Saturación (S)	(%)	27.61	40.41	27.61	40.66	27.61	40.91
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.14	0.27	0.05	0.14	0.14	0.05	0.15	0.10
0.10	0.19	0.39	0.10	0.19	0.19	0.10	0.19	0.13
0.20	0.22	0.45	0.20	0.24	0.24	0.20	0.25	0.17
0.35	0.28	0.56	0.35	0.34	0.34	0.35	0.39	0.26
0.50	0.32	0.64	0.50	0.38	0.38	0.50	0.45	0.30
0.75	0.38	0.76	0.75	0.49	0.49	0.75	0.60	0.40
1.00	0.44	0.88	1.00	0.58	0.58	1.00	0.72	0.48
1.25	0.49	0.97	1.25	0.66	0.66	1.25	0.83	0.55
1.50	0.54	1.07	1.50	0.73	0.73	1.50	0.92	0.61
1.75	0.56	1.11	1.75	0.78	0.78	1.75	1.00	0.67
2.00	0.59	1.19	2.00	0.84	0.84	2.00	1.09	0.73
2.50	0.66	1.32	2.50	0.92	0.92	2.50	1.17	0.78
3.00	0.71	1.42	3.00	1.01	1.01	3.00	1.31	0.87
3.50	0.75	1.50	3.50	1.07	1.07	3.50	1.38	0.92
4.00	0.77	1.54	4.00	1.12	1.12	4.00	1.46	0.97
4.50	0.80	1.60	4.50	1.17	1.17	4.50	1.55	1.03
5.00	0.82	1.64	5.00	1.21	1.21	5.00	1.61	1.07
6.00	0.83	1.66	6.00	1.27	1.27	6.00	1.71	1.14
7.00	0.81	1.62	7.00	1.29	1.29	7.00	1.76	1.18
8.00	0.78	1.56	8.00	1.27	1.27	8.00	1.76	1.18
9.00	0.74	1.48	9.00	1.25	1.25	9.00	1.75	1.17
10.00	0.69	1.38	10.00	1.20	1.20	10.00	1.72	1.14
11.00	0.64	1.29	11.00	1.15	1.15	11.00	1.65	1.10
12.00	0.60	1.21	12.00	1.09	1.09	12.00	1.57	1.05
13.00	0.57	1.15	13.00	1.04	1.04	13.00	1.51	1.01
14.00	0.56	1.11	14.00	1.01	1.01	14.00	1.47	0.98
15.00	0.55	1.09	15.00	1.00	1.00	15.00	1.45	0.97
16.00	0.54	1.07	16.00	0.98	0.98	16.00	1.42	0.95
17.00	0.54	1.07	17.00	0.96	0.96	17.00	1.39	0.93
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

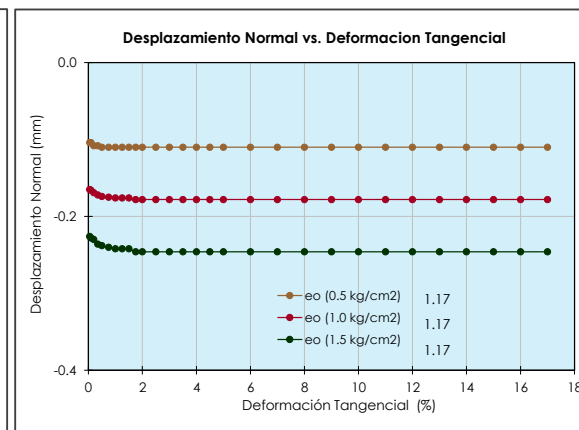
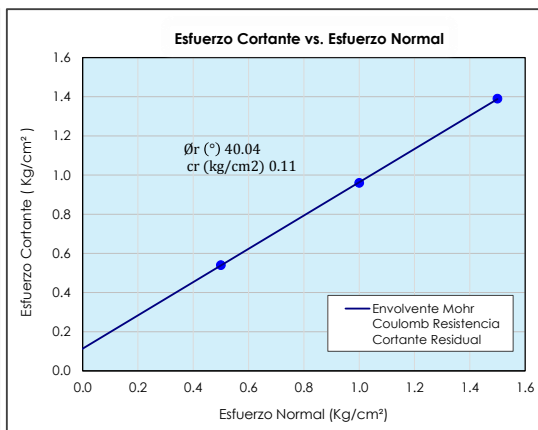
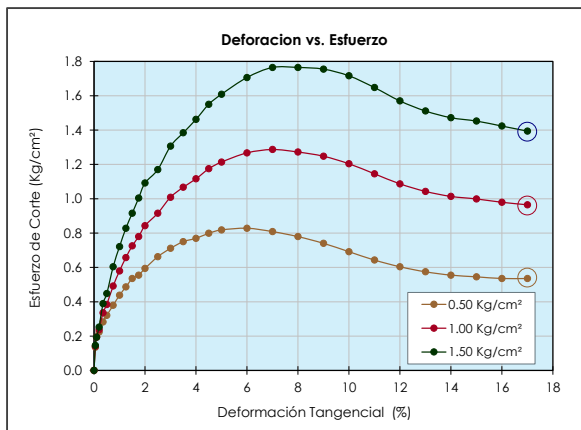
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NIP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	CALICATA	: Seccion 2-2	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	MUESTRA	: M-2	CONDICION DE HUMEDAD	: NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	PROFUNDIDAD	: SUP	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	CLASIFICACION SUCS	: ML	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA			FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia máxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Sección 2-2
MUESTRA : M-3
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.08	2.12	2.10	2.12	2.11
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g _t)	(g/cm ³)	1.37	1.53	1.37	1.52	1.37	1.50
Densidad Seca (g _d)	(g/cm ³)	1.34	1.37	1.34	1.36	1.34	1.34
Humedad (w)	(%)	2.05	11.83	2.05	11.83	2.05	11.83
Relacion de Vacios (e)		0.97	0.93	0.97	0.95	0.97	0.97
Grado de Saturación (S)	(%)	5.60	32.71	5.60	32.14	5.60	31.59
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.13	0.25	0.05	0.13	0.13	0.05	0.14	0.09
0.10	0.15	0.29	0.10	0.16	0.16	0.10	0.16	0.11
0.20	0.20	0.41	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21	0.14
0.35	0.29	0.58	0.35	0.37	0.37	0.35	0.45	0.30
0.50	0.35	0.70	0.50	0.41	0.41	0.50	0.47	0.31
0.75	0.43	0.86	0.75	0.53	0.53	0.75	0.63	0.42
1.00	0.48	0.95	1.00	0.64	0.64	1.00	0.80	0.53
1.25	0.51	1.01	1.25	0.73	0.73	1.25	0.95	0.63
1.50	0.56	1.11	1.50	0.81	0.81	1.50	1.06	0.71
1.75	0.57	1.15	1.75	0.85	0.85	1.75	1.13	0.75
2.00	0.58	1.17	2.00	0.90	0.90	2.00	1.22	0.81
2.50	0.63	1.27	2.50	0.98	0.98	2.50	1.33	0.88
3.00	0.65	1.31	3.00	1.01	1.01	3.00	1.37	0.92
3.50	0.67	1.34	3.50	1.05	1.05	3.50	1.42	0.95
4.00	0.68	1.36	4.00	1.07	1.07	4.00	1.45	0.97
4.50	0.68	1.36	4.50	1.08	1.08	4.50	1.47	0.98
5.00	0.67	1.34	5.00	1.08	1.08	5.00	1.49	0.99
6.00	0.66	1.32	6.00	1.08	1.08	6.00	1.50	1.00
7.00	0.65	1.31	7.00	1.07	1.07	7.00	1.49	0.99
8.00	0.64	1.29	8.00	1.06	1.06	8.00	1.47	0.98
9.00	0.64	1.29	9.00	1.05	1.05	9.00	1.46	0.97
10.00	0.62	1.25	10.00	1.03	1.03	10.00	1.44	0.96
11.00	0.61	1.23	11.00	1.01	1.01	11.00	1.41	0.94
12.00	0.61	1.23	12.00	1.01	1.01	12.00	1.40	0.94
13.00	0.62	1.25	13.00	0.99	0.99	13.00	1.36	0.91
14.00	0.62	1.25	14.00	0.98	0.98	14.00	1.34	0.89
15.00	0.62	1.25	15.00	0.96	0.96	15.00	1.31	0.87
16.00	0.60	1.21	16.00	0.94	0.94	16.00	1.28	0.85
17.00	0.59	1.19	17.00	0.93	0.93	17.00	1.27	0.84
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

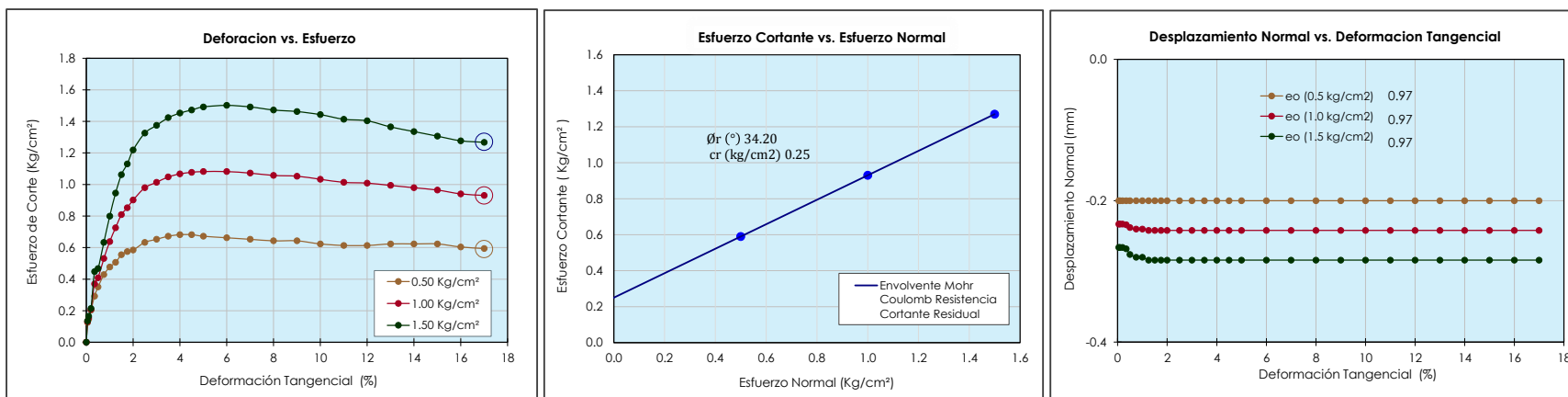
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	CONDICION DE HUMEDAD	: NATURAL SIN INUNDACION DE CELDA
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA	CLASIFICACION SUCS	: ML
		FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia máxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Seccion 2-2
MUESTRA : M-3
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : 25% DEL GRADO DE SATURACIÓN
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.08	2.12	2.10	2.12	2.11
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g _t)	(g/cm ³)	1.39	1.51	1.39	1.49	1.39	1.47
Densidad Seca (g _d)	(g/cm ³)	1.36	1.41	1.36	1.39	1.36	1.36
Humedad (w)	(%)	2.05	7.03	2.05	7.51	2.05	7.99
Relacion de Vacios (e)		0.95	0.91	0.95	0.93	0.95	0.95
Grado de Saturación (S)	(%)	5.72	26.27	5.72	24.24	5.72	22.28
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

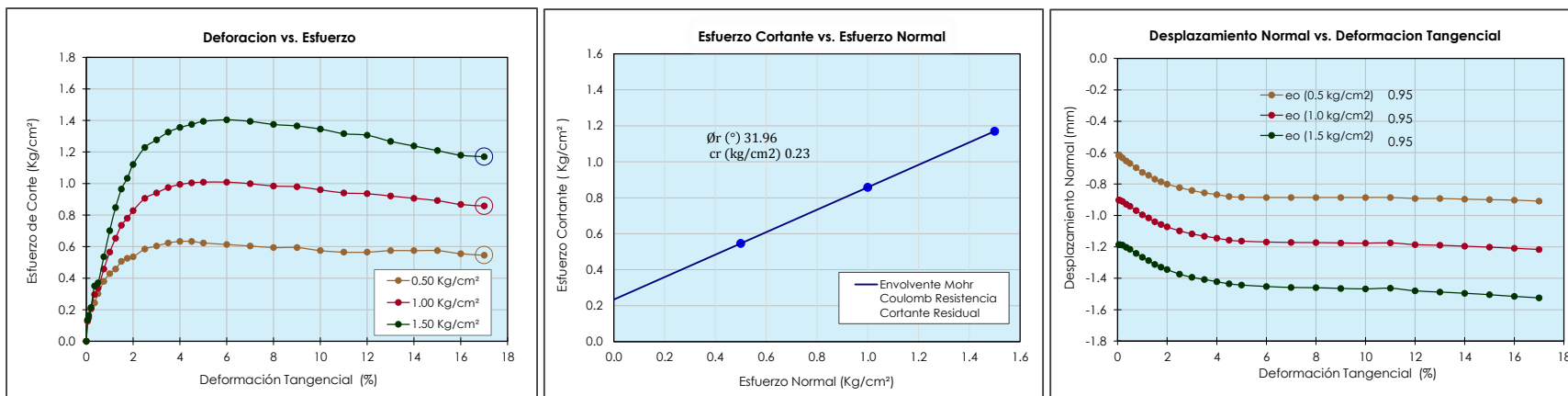
ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.13	0.25	0.05	0.13	0.13	0.05	0.14	0.09
0.10	0.15	0.29	0.10	0.16	0.16	0.10	0.16	0.11
0.20	0.20	0.41	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21	0.14
0.35	0.24	0.49	0.35	0.30	0.30	0.35	0.35	0.23
0.50	0.30	0.60	0.50	0.34	0.34	0.50	0.37	0.25
0.75	0.38	0.76	0.75	0.46	0.46	0.75	0.54	0.36
1.00	0.43	0.86	1.00	0.56	0.56	1.00	0.70	0.47
1.25	0.46	0.91	1.25	0.65	0.65	1.25	0.85	0.57
1.50	0.51	1.01	1.50	0.74	0.74	1.50	0.96	0.64
1.75	0.53	1.05	1.75	0.78	0.78	1.75	1.03	0.69
2.00	0.54	1.07	2.00	0.83	0.83	2.00	1.12	0.75
2.50	0.58	1.17	2.50	0.91	0.91	2.50	1.23	0.82
3.00	0.60	1.21	3.00	0.94	0.94	3.00	1.28	0.85
3.50	0.62	1.25	3.50	0.97	0.97	3.50	1.33	0.88
4.00	0.63	1.27	4.00	0.99	0.99	4.00	1.35	0.90
4.50	0.63	1.27	4.50	1.00	1.00	4.50	1.37	0.92
5.00	0.62	1.25	5.00	1.01	1.01	5.00	1.39	0.93
6.00	0.61	1.23	6.00	1.01	1.01	6.00	1.40	0.94
7.00	0.60	1.21	7.00	1.00	1.00	7.00	1.39	0.93
8.00	0.59	1.19	8.00	0.98	0.98	8.00	1.37	0.92
9.00	0.59	1.19	9.00	0.98	0.98	9.00	1.36	0.91
10.00	0.57	1.15	10.00	0.96	0.96	10.00	1.35	0.90
11.00	0.56	1.13	11.00	0.94	0.94	11.00	1.32	0.88
12.00	0.56	1.13	12.00	0.94	0.94	12.00	1.31	0.87
13.00	0.57	1.15	13.00	0.92	0.92	13.00	1.27	0.84
14.00	0.57	1.15	14.00	0.91	0.91	14.00	1.24	0.83
15.00	0.57	1.15	15.00	0.89	0.89	15.00	1.21	0.81
16.00	0.56	1.11	16.00	0.87	0.87	16.00	1.18	0.79
17.00	0.55	1.09	17.00	0.86	0.86	17.00	1.17	0.78
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NIP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO (ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	CALICATA	: Seccion 2-2	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	MUESTRA	: M-3	CONDICION DE HUMEDAD	: 25% DEL GRADO DE SATURACIÓN
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	PROFUNDIDAD	: SUP	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	CLASIFICACION SUCS	: ML	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA			FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , angulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p angulo de fricción interna y cohesión de resistencia maxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Sección 2-2
MUESTRA : M-3
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : 50% DEL GRADO DE SATURACIÓN
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.08	2.12	2.10	2.12	2.11
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g _t)	(g/cm ³)	1.38	1.65	1.38	1.63	1.38	1.61
Densidad Seca (g _s)	(g/cm ³)	1.35	1.38	1.35	1.36	1.35	1.35
Humedad (w)	(%)	2.05	19.98	2.05	19.60	2.05	19.23
Relacion de Vacios (e)		0.96	0.92	0.96	0.94	0.96	0.96
Grado de Saturación (S)	(%)	5.65	57.14	5.65	55.08	5.65	53.09
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.13	0.25	0.05	0.13	0.13	0.05	0.14	0.09
0.10	0.15	0.29	0.10	0.16	0.16	0.10	0.16	0.11
0.20	0.20	0.41	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21	0.14
0.35	0.19	0.39	0.35	0.22	0.22	0.35	0.25	0.17
0.50	0.25	0.51	0.50	0.26	0.26	0.50	0.27	0.18
0.75	0.33	0.66	0.75	0.33	0.33	0.75	0.33	0.22
1.00	0.38	0.76	1.00	0.44	0.44	1.00	0.50	0.33
1.25	0.41	0.82	1.25	0.53	0.53	1.25	0.64	0.43
1.50	0.46	0.91	1.50	0.61	0.61	1.50	0.76	0.51
1.75	0.48	0.95	1.75	0.65	0.65	1.75	0.83	0.55
2.00	0.49	0.97	2.00	0.70	0.70	2.00	0.92	0.61
2.50	0.54	1.07	2.50	0.78	0.78	2.50	1.02	0.68
3.00	0.56	1.11	3.00	0.81	0.81	3.00	1.07	0.71
3.50	0.57	1.15	3.50	0.85	0.85	3.50	1.12	0.75
4.00	0.58	1.17	4.00	0.87	0.87	4.00	1.15	0.77
4.50	0.58	1.17	4.50	0.88	0.88	4.50	1.17	0.78
5.00	0.57	1.15	5.00	0.88	0.88	5.00	1.19	0.79
6.00	0.56	1.13	6.00	0.88	0.88	6.00	1.20	0.80
7.00	0.56	1.11	7.00	0.87	0.87	7.00	1.19	0.79
8.00	0.55	1.09	8.00	0.86	0.86	8.00	1.17	0.78
9.00	0.55	1.09	9.00	0.85	0.85	9.00	1.16	0.77
10.00	0.53	1.05	10.00	0.83	0.83	10.00	1.14	0.76
11.00	0.52	1.03	11.00	0.81	0.81	11.00	1.11	0.74
12.00	0.52	1.03	12.00	0.81	0.81	12.00	1.10	0.73
13.00	0.53	1.05	13.00	0.81	0.81	13.00	1.09	0.73
14.00	0.53	1.05	14.00	0.80	0.80	14.00	1.07	0.71
15.00	0.53	1.05	15.00	0.80	0.80	15.00	1.07	0.71
16.00	0.51	1.01	16.00	0.78	0.78	16.00	1.06	0.71
17.00	0.50	0.99	17.00	0.78	0.78	17.00	1.06	0.71
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

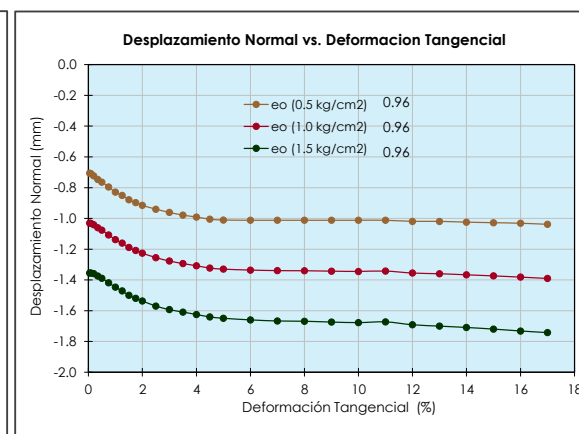
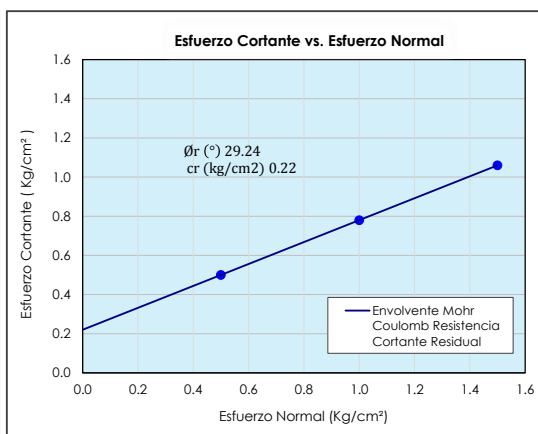
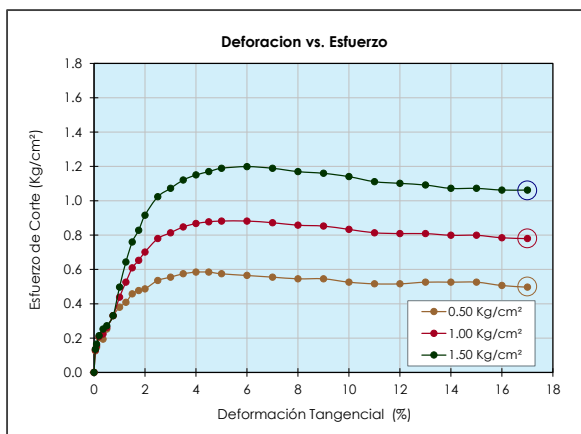
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025:2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	CALICATA	: Seccion 2-2	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	MUESTRA	: M-3	CONDICION DE HUMEDAD	: 50% DEL GRADO DE SATURACIÓN
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	PROFUNDIDAD	: SUP	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	CLASIFICACION SUCS	: ML	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA			FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia maxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Sección 2-2
MUESTRA : M-3
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : 75% DEL GRADO DE SATURACIÓN
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.08	2.12	2.10	2.12	2.11
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g _t)	(g/cm ³)	1.39	1.73	1.39	1.72	1.39	1.71
Densidad Seca (g _s)	(g/cm ³)	1.36	1.39	1.36	1.38	1.36	1.36
Humedad (w)	(%)	2.05	24.85	2.05	24.95	2.05	25.05
Relacion de Vacios (e)		0.95	0.91	0.95	0.93	0.95	0.94
Grado de Saturación (S)	(%)	5.74	72.30	5.74	71.34	5.74	70.40
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm ²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.14	0.27	0.05	0.14	0.14	0.05	0.14	0.09
0.10	0.16	0.33	0.10	0.17	0.17	0.10	0.18	0.12
0.20	0.19	0.39	0.20	0.22	0.22	0.20	0.25	0.17
0.35	0.20	0.41	0.35	0.29	0.29	0.35	0.38	0.25
0.50	0.22	0.45	0.50	0.33	0.33	0.50	0.43	0.29
0.75	0.26	0.52	0.75	0.38	0.38	0.75	0.50	0.33
1.00	0.28	0.56	1.00	0.42	0.42	1.00	0.56	0.37
1.25	0.30	0.60	1.25	0.46	0.46	1.25	0.62	0.42
1.50	0.32	0.64	1.50	0.49	0.49	1.50	0.66	0.44
1.75	0.34	0.68	1.75	0.53	0.53	1.75	0.71	0.47
2.00	0.37	0.74	2.00	0.56	0.56	2.00	0.75	0.50
2.50	0.38	0.76	2.50	0.60	0.60	2.50	0.82	0.55
3.00	0.40	0.80	3.00	0.63	0.63	3.00	0.87	0.58
3.50	0.42	0.84	3.50	0.66	0.66	3.50	0.91	0.60
4.00	0.43	0.86	4.00	0.68	0.68	4.00	0.94	0.62
4.50	0.44	0.88	4.50	0.70	0.70	4.50	0.95	0.64
5.00	0.45	0.90	5.00	0.71	0.71	5.00	0.96	0.64
6.00	0.46	0.91	6.00	0.73	0.73	6.00	0.99	0.66
7.00	0.46	0.91	7.00	0.73	0.73	7.00	1.00	0.67
8.00	0.46	0.91	8.00	0.74	0.74	8.00	1.01	0.68
9.00	0.45	0.90	9.00	0.73	0.73	9.00	1.01	0.68
10.00	0.45	0.90	10.00	0.73	0.73	10.00	1.01	0.68
11.00	0.45	0.90	11.00	0.73	0.73	11.00	1.00	0.67
12.00	0.45	0.90	12.00	0.73	0.73	12.00	1.00	0.67
13.00	0.44	0.88	13.00	0.72	0.72	13.00	1.00	0.67
14.00	0.44	0.88	14.00	0.72	0.72	14.00	0.99	0.66
15.00	0.44	0.88	15.00	0.72	0.72	15.00	0.99	0.66
16.00	0.44	0.88	16.00	0.72	0.72	16.00	1.00	0.67
17.00	0.44	0.88	17.00	0.71	0.71	17.00	0.98	0.66
18.00			18.00			18.00		
19.00			19.00			19.00		
20.00			20.00			20.00		
21.00			21.00			21.00		
22.00			22.00			22.00		
23.00			23.00			23.00		
24.00			24.00			24.00		
25.00			25.00			25.00		

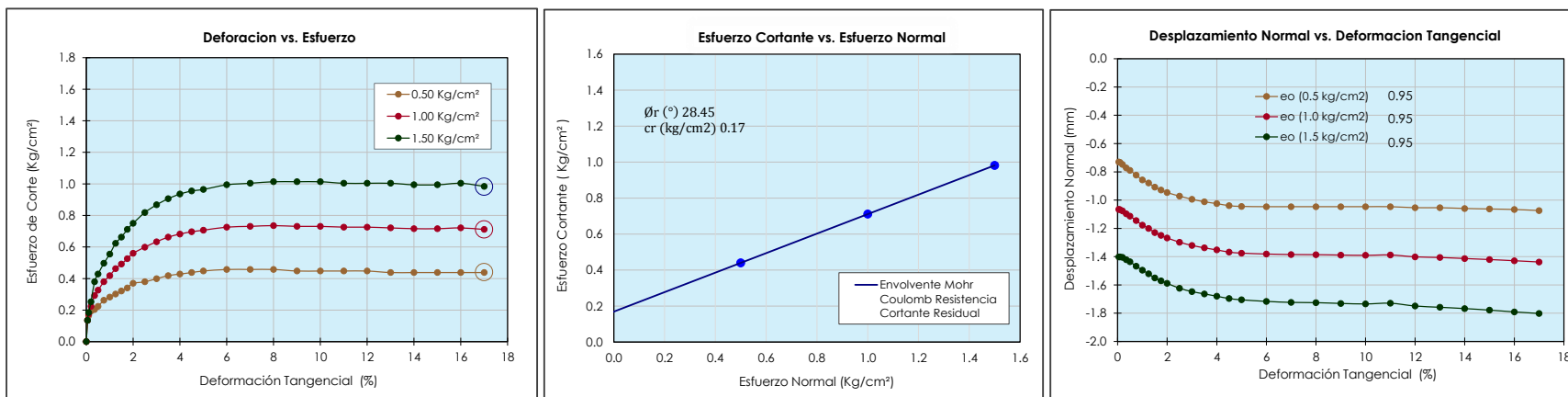
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025:2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	CALICATA	: Seccion 2-2	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	MUESTRA	: M-3	CONDICION DE HUMEDAD	: 75% DEL GRADO DE SATURACIÓN
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	PROFUNDIDAD	: SUP	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	CLASIFICACION SUCS	: ML	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA			FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).
 ϕ_r , c_r , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia máxima, respectivamente

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 (ASTM - D3080)

INFORME N° : 103
SOLICITANTE : TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH
DIRECCIÓN : AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE
PROYECTO : TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."
UBICACIÓN : PUERTO DE PAITA PIURA
CALICATA : Sección 2-2
MUESTRA : M-3
PROFUNDIDAD (m) : SUP
CLASIFICACION (S.U.C.S.) : ML
TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO
CONDICION DE HUMEDAD : SATURADA CON INUNDACION DE CELDA
APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
TIPO DE DEFORMACION : DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)	2.12	2.00	2.12	1.96	2.12	1.92
Ancho (f)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (g)	(g/cm ³)	1.52	1.96	1.52	1.99	1.52	2.01
Densidad Seca (g _d)	(g/cm ³)	1.50	1.54	1.50	1.57	1.50	1.60
Humedad (w)	(%)	1.54	27.80	1.54	26.77	1.54	25.75
Relacion de Vacios (e)		0.77	0.67	0.77	0.64	0.77	0.61
Grado de Saturación (S)	(%)	5.31	94.54	5.31	95.13	5.31	95.78
Velocidad Deformacion Tangencial	(mm/min)	0.87		0.87		0.87	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm²)	0.50		1.00		1.50	

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm²)	Esfuerzo Normalizado
0.05	0.14	0.27	0.05	0.13	0.13	0.05	0.13	0.08
0.10	0.16	0.33	0.10	0.17	0.17	0.10	0.18	0.12
0.15	0.18	0.39	0.15	0.18	0.18	0.15	0.19	0.13
0.20	0.20	0.45	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.14
0.25	0.22	0.51	0.25	0.20	0.20	0.25	0.21	0.15
0.30	0.24	0.57	0.30	0.21	0.21	0.30	0.22	0.16
0.35	0.26	0.63	0.35	0.22	0.22	0.35	0.23	0.17
0.40	0.28	0.69	0.40	0.23	0.23	0.40	0.24	0.18
0.45	0.30	0.75	0.45	0.24	0.24	0.45	0.25	0.19
0.50	0.32	0.81	0.50	0.25	0.25	0.50	0.26	0.20
0.55	0.34	0.87	0.55	0.26	0.26	0.55	0.27	0.21
0.60	0.36	0.93	0.60	0.27	0.27	0.60	0.28	0.22
0.65	0.38	0.99	0.65	0.28	0.28	0.65	0.29	0.23
0.70	0.40	1.05	0.70	0.29	0.29	0.70	0.30	0.24
0.75	0.42	1.11	0.75	0.30	0.30	0.75	0.31	0.25
0.80	0.44	1.17	0.80	0.31	0.31	0.80	0.32	0.26
0.85	0.46	1.23	0.85	0.32	0.32	0.85	0.33	0.27
0.90	0.48	1.29	0.90	0.33	0.33	0.90	0.34	0.28
0.95	0.50	1.35	0.95	0.34	0.34	0.95	0.35	0.29
1.00	0.52	1.41	1.00	0.35	0.35	1.00	0.36	0.30
1.05	0.54	1.47	1.05	0.36	0.36	1.05	0.37	0.31
1.10	0.56	1.53	1.10	0.37	0.37	1.10	0.38	0.32
1.15	0.58	1.59	1.15	0.38	0.38	1.15	0.39	0.33
1.20	0.60	1.65	1.20	0.39	0.39	1.20	0.40	0.34
1.25	0.62	1.71	1.25	0.40	0.40	1.25	0.41	0.35
1.30	0.64	1.77	1.30	0.41	0.41	1.30	0.42	0.36
1.35	0.66	1.83	1.35	0.42	0.42	1.35	0.43	0.37
1.40	0.68	1.89	1.40	0.43	0.43	1.40	0.44	0.38
1.45	0.70	1.95	1.45	0.44	0.44	1.45	0.45	0.39
1.50	0.72	2.01	1.50	0.45	0.45	1.50	0.46	0.40
1.55	0.74	2.07	1.55	0.46	0.46	1.55	0.47	0.41
1.60	0.76	2.13	1.60	0.47	0.47	1.60	0.48	0.42
1.65	0.78	2.19	1.65	0.48	0.48	1.65	0.49	0.43
1.70	0.80	2.25	1.70	0.49	0.49	1.70	0.50	0.44
1.75	0.82	2.31	1.75	0.50	0.50	1.75	0.51	0.45
1.80	0.84	2.37	1.80	0.51	0.51	1.80	0.52	0.46
1.85	0.86	2.43	1.85	0.52	0.52	1.85	0.53	0.47
1.90	0.88	2.49	1.90	0.53	0.53	1.90	0.54	0.48
1.95	0.90	2.55	1.95	0.54	0.54	1.95	0.55	0.49
2.00	0.92	2.61	2.00	0.55	0.55	2.00	0.56	0.50
2.05	0.94	2.67	2.05	0.56	0.56	2.05	0.57	0.51
2.10	0.96	2.73	2.10	0.57	0.57	2.10	0.58	0.52
2.15	0.98	2.79	2.15	0.58	0.58	2.15	0.59	0.53
2.20	1.00	2.85	2.20	0.59	0.59	2.20	0.60	0.54
2.25	1.02	2.91	2.25	0.60	0.60	2.25	0.61	0.55
2.30	1.04	2.97	2.30	0.61	0.61	2.30	0.62	0.56
2.35	1.06	3.03	2.35	0.62	0.62	2.35	0.63	0.57
2.40	1.08	3.09	2.40	0.63	0.63	2.40	0.64	0.58
2.45	1.10	3.15	2.45	0.64	0.64	2.45	0.65	0.59
2.50	1.12	3.21	2.50	0.65	0.65	2.50	0.66	0.60

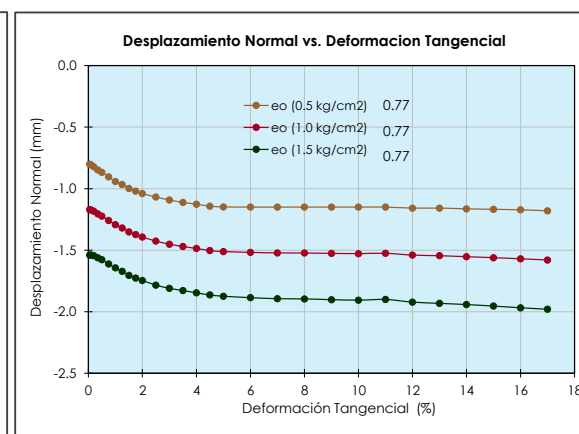
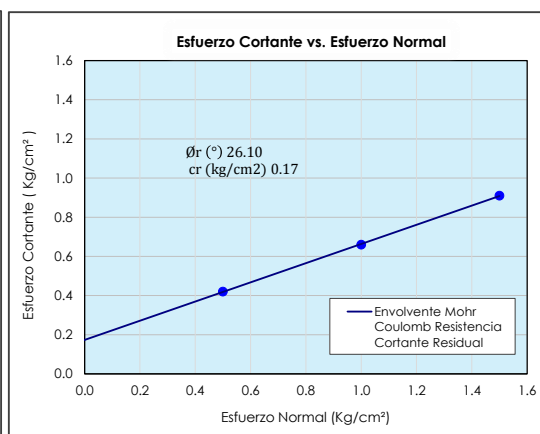
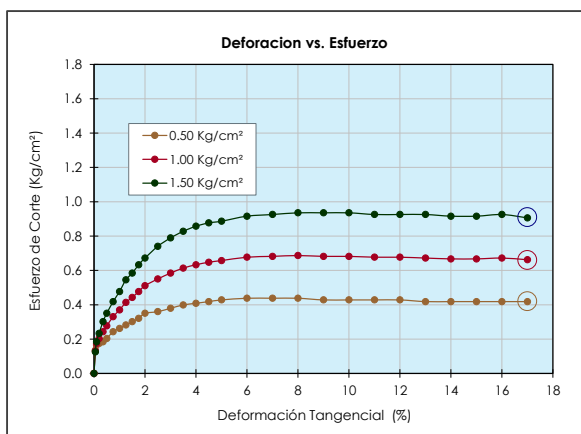
OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NIP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

(ASTM - D3080)

INFORME N°	: 103	CALICATA	: Seccion 2-2	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	MUESTRA	: M-3	CONDICION DE HUMEDAD	: SATURADA CON INUNDACION DE CELDA
DIRECCIÓN	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	PROFUNDIDAD	: SUP	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	CLASIFICACION SUCS	: ML	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: PUERTO DE PAITA PIURA			FECHA DE EMISION	: OCTUBRE 2019



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado inalterado, remoldeado a temperatura ambiente proporcionada e identificada por el solicitante.

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ϕ_r , c_r , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente. ϕ_p , c_p ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia máxima, respectivamente

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES EN SUELOS
NTP 339.152 2002

INFORME	: 103	Pagina : 1/1
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	Realizado: T.R.N.
DIRECCION	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	Revisado : P.M.B.M.
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	
UBICACION	: PUERTO DE PAITA-PIURA	
PUNTO	: SECCIÓN 2-2	FECHA RECEPCIÓN : 17/04/2019
MUESTRA	: M1	FECHA DE ENSAYO : 23/04/2019
		FECHA DE EMISIÓN : 08/05/2019

DESCRIPCION		MEDIDAS Y RESULTADOS	
Gramos de muestra de suelo	(g)	200	
Mililitros de agua para dilución	(ml)	600	
Mililitros de alícuota tomada	(ml)	100	
Relacion Agua: Suelo	(g)	3	
N° de Pruebas		1	2
W Capsula de evaporacion	(g)	103.3953	114.3208
W Capsula de evaporacion + residuo seco	(g)	103.7524	114.6608
W Residuo de evaporacion	(g)	0.3571	0.34
Promedio	(g)	0.34855	
Total sales solubles	(ppm)	10456.5	

ml: Mililitros
 g: Gramos
 W: Peso
 ppm: Partes por millón

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES EN SUELOS
 NTP 339.152 2002

INFORME	:	103	Pagina	:	1/1
SOLICITANTE	:	TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	Realizado:	:	T.R.N.
DIRECCION	:	AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	Revisado	:	P.M.B.M.
PROYECTO	:	TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."			
UBICACION	:	PUERTO DE PAITA-PIURA			
PUNTO	:	SECCIÓN 2-2			
MUESTRA	:	M2			

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DESCRIPCION		MEDIDAS Y RESULTADOS	
Gramos de muestra de suelo	(g)	200	
Mililitros de agua para dilución	(ml)	600	
Mililitros de alícuota tomada	(ml)	100	
Relacion Agua: Suelo	(g)	3	
N° de Pruebas		1	2
W Capsula de evaporacion	(g)	107.2065	57.8391
W Capsula de evaporacion + residuo seco	(g)	107.3875	58.0016
W Residuo de evaporacion	(g)	0.181	0.1625
Promedio	(g)	0.17175	
Total sales solubles	(ppm)	5152.5	

ml: Mililitros
 g: Gramos
 W: Peso
 ppm: Partes por millón

OBSERVACIONES :

La muestra fue proporcionada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES EN SUELOS
NTP 339.152 2002

INFORME	: 103	Página : 1/1
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	Realizado: T.R.N.
DIRECCION	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	Revisado : P.M.B.M.
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	
UBICACION	: PUERTO DE PAITA-PIURA	
PUNTO	: SECCIÓN 2-2	
MUESTRA	: M3	

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DESCRIPCION		MEDIDAS Y RESULTADOS	
Gramos de muestra de suelo	(g)	200	
Mililitros de agua para dilución	(ml)	600	
Mililitros de alicuota tomada	(ml)	100	
Relacion Agua: Suelo	(g)	3	
N° de Pruebas		1	2
W Capsula de evaporacion	(g)	112.6159	105.8375
W Capsula de evaporacion + residuo seco	(g)	112.8366	106.0426
W Residuo de evaporacion	(g)	0.2207	0.2051
Promedio	(g)	0.2129	
Total sales solubles	(ppm)	6387	

ml: Mililitros
 g: Gramos
 W: Peso
 ppm: Partes por millón

OBSERVACIONES :

La muestra fue proporcionada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS SOLUBLES EN SUELOS

ASTM D-156 NTP 339.339

INFORME	: 103	Página : 1/1
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	Realizado: T.R.N.
DIRECCION	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	Revisado : P.M.B.M.
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	
UBICACION	: PUERTO DE PAITA-PIURA	
PUNTO	: SECCIÓN 2-2	
MUESTRA	: M1	

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DESCRIPCION		MEDIDAS Y RESULTADOS
Gramos de muestra de suelo	(g)	50
Mililitros de agua para dilución	(ml)	150
Mililitros de alícuota tomada	(ml)	30
Gramos de suelo diluido en alícuota	(g)	10
W Crisol	(g)	18.0204
W Crisol+Muestra	(g)	18.1312
Total sulfatos solubles	(ppm)	4559.42

ml: Mililitros
 g: Gramos
 W: Peso
 ppm: Partes por millón

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS SOLUBLES EN SUELOS

ASTM D-156 NTP 339.339

INFORME	: 103	Página : 1/1
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	Realizado: T.R.N.
DIRECCION	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	Revisado : P.M.B.M.
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	
UBICACION	: PUERTO DE PAITA-PIURA	
PUNTO	: SECCIÓN 2-2	
MUESTRA	: M2	

FECHA DE EMISIÓN : OCTUBRE 2019

DESCRIPCION		MEDIDAS Y RESULTADOS
Gramos de muestra de suelo	(g)	50
Mililitros de agua para dilución	(ml)	150
Mililitros de alicuota tomada	(ml)	30
Gramos de suelo diluido en alicuota	(g)	10
W Crisol	(g)	18.2208
W Crisol+Muestra	(g)	18.2376
Total sulfatos solubles	(ppm)	691.32

ml: Mililitros
 g: Gramos
 W: Peso
 ppm: Partes por millón

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS SOLUBLES EN SUELOS

ASTM D-156 NTP 339.339

INFORME	: 103	Página : 1/1
SOLICITANTE	: TORRES RODRÍGUEZ, NANCY ELIZABETH	Realizado: T.R.N.
DIRECCION	: AV. 28 DE FEBRERO ZONA I- HUAYCAN, ATE	Revisado : P.M.B.M.
PROYECTO	: TESIS" INCIDENCIA DEL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL PUERTO DE PAITA-PIURA, EN EL AÑO 2019."	
UBICACION	: PUERTO DE PAITA-PIURA	
PUNTO	: SECCIÓN 2-2	
MUESTRA	: M3	

FECHA DE EMISIÓN : 08/05/2019

DESCRIPCION		MEDIDAS Y RESULTADOS
Gramos de muestra de suelo	(g)	50
Mililitros de agua para dilución	(ml)	150
Mililitros de alícuota tomada	(ml)	30
Gramos de suelo diluido en alícuota	(g)	10
W Crisol	(g)	17.6327
W Crisol+Muestra	(g)	17.6489
Total sulfatos solubles	(ppm)	666.63

ml: Mililitros
 g: Gramos
 W: Peso
 ppm: Partes por millón

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).